

I Simpósio Brasileiro
de Rochas Ornamentais

II Seminário de Rochas
Ornamentais do Nordeste

Editores

Adalberto de Figueiredo Ribeiro
Francisco Wilson Hollanda Vidal

Anais

Museu Geológico da Bahia
Salvador • Bahia • 28/11/01 a 01/12/01

**I SIMPÓSIO BRASILEIRO DE ROCHAS ORNAMENTAIS
II SEMINÁRIO DE ROCHAS ORNAMENTAIS DO NORDESTE
MUSEU GEOLÓGICO DA BAHIA
SALVADOR – BA, 28/11/01 A 01/12/01**

ANAIS

Realização:



**Apoio: SIMAGRAN-BA
ABIROCHAS**

**I SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
ROCHAS ORNAMENTAIS**

**II SEMINÁRIO DE ROCHAS
ORNAMENTAIS DO NORDESTE**

ANAIS

**Museu Geológico da Bahia
Salvador-BA/Brasil
28 de novembro à 01 de dezembro de 2001**

Editores
Adalberto de Figueiredo Ribeiro
Francisco Wilson Hollanda Vidal

**I SIMPÓSIO BRASILEIRO DE ROCHAS ORNAMENTAIS
II SEMINÁRIO DE ROCHAS ORNAMENTAIS DO NORDESTE
Museu Geológico da Bahia
Salvador, BA, 28/11/01 a 01/12/01**

Comissão Organizadora

Ruy Fernandes Lima
Presidente da Comissão
CBPM/BA

Adalberto de Figueiredo Ribeiro
SICM-COMIN/BA

Francisco Wilson Hollanda Vidal
CETEM/MCT

Ernesto Fernando Alves da Silva
CBPM/BA

Bartolomeu de Albuquerque Franco
CPRM/PE

Ana Cristina Franco Magalhães
CBPM/BA

Silmara Nogueira Lima
Cobertura de Editoração

Lúcia Mezzedimi
Secretária

I Simpósio Brasileiro de Rochas Ornamentais; II Seminário de Rochas Ornamentais do Nordeste, 28 nov. – 01 dezembro 2001, Salvador. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2002.

145 p.

1. Rochas ornamentais. 2. Minerais industriais. I. Centro de Tecnologia Mineral. II. Seminário de Rochas Ornamentais do Nordeste (2.: Salvador, 2001).

ISBN 85-7227-162-7

CDD 553

APRESENTAÇÃO

Com a realização deste I Simpósio Brasileiro de Rochas Ornamentais, concomitante com o II Seminário de Rochas Ornamentais do Nordeste, entre 28 de novembro e 1º de dezembro de 2001, tivemos a satisfação de resgatar compromissos assumidos pela Bahia, no Recife, quando se realizou o I Seminário.

Justo neste momento, em que parece haver um certo arrefecimento nos volumes de investimentos brasileiros na atividade, quer seja por parte da iniciativa privada, quer seja através dos orçamentos governamentais, a realização desses eventos parece-nos muito oportuna.

Ao lado disso, é opinião corrente entre aqueles que fazem o segmento das Rochas Ornamentais no Brasil, que se precisa, urgentemente, garantir meios para estimular e provocar a modernização tecnológica do setor, sob pena de perderem-se largas fatias de mercado que foram conquistadas duramente, além de deixar de conquistar outras tantas, especialmente falando-se em termos de mercado internacional.

Conforme o leitor poderá conferir, a coletânea de trabalhos técnicos, ora publicados, vai ao encontro dessas expectativas. Dentre os vinte trabalhos que compõem este I Simpósio e II Seminário pode-se encontrar o que há de mais recente em termos de produção de conhecimento técnico-científico da atividade de rochas ornamentais, obtida tanto no âmbito da academia ou outras instituições de pesquisa, quanto pelas empresas ou instituições governamentais.

Igualmente, as questões mercadológicas e de treinamento foram contempladas, inclusive com uma mesa redonda e um curso voltado especialmente para o especificador de Rochas Ornamentais.

Toda esta programação técnica foi finalizada com uma excursão ao distrito produtor do Mármore Bege Bahia, situado na parte centro norte do Estado, nos municípios de Ouro-lândia e Jacobina.

Todo o trabalho de preparação e organização dos eventos foi sustentado pela convicção da Comissão Organizadora de que, ao seu final, seria oferecida mais uma contribuição à consolidação do desenvolvimento econômico da indústria de Rochas Ornamentais do Brasil.

Aproveitamos a oportunidade para agradecer o apoio da SIMAGRAM-BA e ABIROCHAS à realização deste evento. Parabenizamos a Comissão Organizadora pelo sucesso alcançado, os editores Adalberto de Figueirêdo Ribeiro (COMIN/SICM) e Francisco Wilson Hollanda Vidal (CETEM/MCT) e todos os autores que têm seus trabalhos nesta publicação.

Rio de Janeiro, Março de 2002.

Ruy Lima
Presidente da CBPM

Fernando Freitas Lins
Diretor do CETEM

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO

SESSÕES TÉCNICAS

| | |
|--|-----|
| Situação e Perspectivas Brasileiras no Setor de Rochas Ornamentais e de Revestimento – Cid Chiodi Filho | 02 |
| Características Tecnológicas de Granitos Ornamentais: A Influência da Mineralogia, Textura e Estrutura da Rocha. Dados Comparativos e Implicações de Utilização – Antonio Carlos Artur, Ana Paula Meyer e Eberhard Wernick | 13 |
| Principais Patologias Associadas ao Uso de Rochas Ornamentais – Helmo Bagdá Gama | 20 |
| Caracterização do Fraturamento Próximo à Lavra do Granito Santa Rosa. Irauçuba/CE – Irani Clezar Mattos | 24 |
| Contribuição para o Estudo das Propriedades Petrofísicas do Granito Asa Branca e Rosa Iracema do Ceará (Brasil) – P. Figueiredo, L. Aires-Barros, J. R. Torquato, M. F. Bessa, M. A. B. Lima, A. H. M. Fernandes e P. Machaqueiro | 31 |
| Caracterização Tecnológica de Rochas Ornamentais na Construção Civil: Estudo de Caso na Edificação do Tribunal de Justiça de Pernambuco – Ivo Pessato Paiva e Vanildo de Almeida Mendes | 37 |
| I - Microclima e Comportamento das Rochas em Monumentos: O Palácio da Bemposta – P. Figueiredo, L. Aires-Barros e A. Flambó | 41 |
| Correlação entre Características Petrográficas e Propriedades Tecnológicas de Granitos Ornamentais: Proposição de Equações Matemáticas – Fabiano Cabañas Navarro e Antonio Carlos Artur | 45 |
| Proposta de Metodologia para Avaliação de Desempenho de Produtos Químicos Hidro-Óleo-Repelentes Utilizados em Rochas Ornamentais – Carla Gonzalez Galan, Eleno de Paula Rodrigues e Gilmar Silveira | 53 |
| Análise de Maciços Cristalinos Empregando o Geo-Radar (GPR) – Marco Antonio Barsottelli Botelho | 61 |
| Estudo do Elemento Abrasivo do Fio Diamantado na Lavra de Granitos do Estado do Ceará – Francisco W. Hollanda Vidal | 64 |
| Estudo de Caso sobre o Modelamento Informatizado da Lavra de Rochas Ornamentais – Marcos Roberto Kalvelage, Aarão de Andrade Lima e Giorgio F. C. de Tomi | 72 |
| Avanços Tecnológicos no Planejamento de Lavra para Rochas Ornamentais – Renato Mastrella, Renata Stellin, Antonio Stellin Jr. e Giorgio F. C. de Tomi | 78 |
| Abordagem Participativa na Gestão de Recursos Minerais: O Caso de Pedreiras de Rochas Ornamentais – Carlos C. Peiter | 82 |
| Aproveitamento de Rejeitos de Pedreiras e Finos de Serrarias de Rochas Ornamentais Brasileiras – Salvador Luiz Matos de Almeida e Ivan Falcão Pontes | 89 |
| Uma Abordagem Técnica e Ambiental sobre os Depósitos de Quartzitos no Estado da Paraíba – Antônio Pedro Ferreira Souza, Aarão de Andrade Lima, Tumkur Rajarao Gopimath e Hugo Cliger Santos Nadler | 95 |
| Rochas Ornamentais do Ceará – Aproveitamento de Rejeitos da Pedreira Asa Branca em Santa Quitéria-CE – A. A. Cajaty, A. P. L. Costa, J. A. Nogueira Neto, C. U. V. Veríssimo, T. J. S. Santos, M. A. B. Lima e F. W. H. Vidal | 101 |

| | |
|--|-----|
| Proposta para um Plano de Ações Integradas para o Setor de Rochas Ornamentais do Nordeste – <i>Francisco Diniz Bezerra</i> | 107 |
| Inserção dos Produtos Baianos no Mercado Internacional – <i>Ana Cristina Franco Magalhães</i> | 110 |
| Balanço Mineral de Rochas Ornamentais 1988 – 2000 – <i>Miguel Antonio Cedraz Nery e Emanuel Apolinário da Silva</i> | 112 |

CURSOS

| | |
|--|-----|
| Qualificação de Rochas Ornamentais e para Revestimento de Edificações: Caracterização Tecnológica e Ensaio de Alterabilidade – <i>Maria Heloisa B. de O. Frascá</i> | 128 |
| Processos de Assentamento de Rochas Ornamentais como Revestimentos – <i>Eleana Patta Flain</i> | 136 |
| O Uso das Rochas Ornamentais em Projetos Urbanos e Arquitetônicos – <i>Cesare Ferrari</i> | 143 |

Sessões Técnicas

SITUAÇÃO E PERSPECTIVAS BRASILEIRAS NO SETOR DE ROCHAS ORNAMENTAIS E DE REVESTIMENTO¹

Cid Chiodi Filho

Geólogo, consultor da ABIROCHAS

Rua Barão de Studart, 2360 – sala 406 – Aldeota – CEP 60.120-002 Fortaleza-CE
Fone: (85)246-2600 Fax: (85)246-0262 E_mail: cdchiodi@terra.com.br

RESUMO

Os materiais naturais de ornamentação e revestimento abrangem as rochas que podem ser extraídas em blocos ou placas, cortadas em formas variadas e que têm suas faces beneficiadas através de esquadreamento, polimento, lustro, apicoamento e flameamento. As principais rochas utilizadas para ornamentação e revestimento de edificações incluem mármore, travertinos, granitos, ardósias, quartzitos, serpentinitos, basaltos, pedra sabão, etc. No ano 2000, de uma produção mundial estimada em 60 milhões t/ano, desdobrou-se cerca de 650 milhões m² de chapas, dos quais as rochas carbonáticas (mármore, travertinos) e serpentinitos perfizeram 58%, as rochas silicáticas (granitos, quartzitos, basaltos) 36% e as ardósias 6%. Cerca de 23 milhões t/ano de rochas brutas e beneficiadas foram comercializadas no mercado internacional em 2000. Somando-se as transações do mercado internacional e dos mercados internos dos países produtores, bem como a comercialização de máquinas, equipamentos, insumos e serviços, estima-se que o setor de rochas ornamentais e de revestimento movimentou US\$ 40 bilhões/ano. O Brasil é um dos grandes produtores e exportadores mundiais de rochas ornamentais e de revestimento. Sua produção totaliza 5,2 milhões t/ano, abrangendo 500 variedades comerciais, sobretudo de granitos. As exportações brasileiras de 2000 atingiram US\$ 271,5 milhões, correspondentes a 1,1 milhão de toneladas. As importações brasileiras de rochas em 2000 somaram US\$ 21,9 milhões, 80% das quais referentes a produtos de mármore e travertinos originados principalmente da Itália, Espanha e Grécia. O consumo interno aparente de rochas ornamentais e de revestimento no Brasil é estimado em 50 milhões m²/ano, equivalentes a 25 kg per capita. Cerca de 80% da produção, beneficiamento, consumo interno, importações e exportações do Brasil são devidos à região sudeste. O Estado do Espírito Santo, seguido por Minas Gerais, Bahia e Rio de Janeiro, representam os principais arranjos produtivos de lava e beneficiamento do setor. Estima-se a existência de 10.000 empresas do setor atuantes no Brasil, responsáveis pela agregação de 105.000 empregos diretos. As transações comerciais nos mercados

interno e externo, incluindo-se negócios com máquinas e insumos, movimentam mais de US\$ 2 bilhões/ano. No mercado mundial, em 2000, o Brasil colocou-se como 6º. maior exportador de rochas em volume físico, como 4º. maior exportador de granitos brutos, como 8º. maior exportador de rochas processadas especiais e, junto com a China, como 2º. maior exportador de ardósias. Mantendo-se crescimento de 15% ao ano, projeta-se patamares de US\$ 355 milhões em 2002 e de US\$ 618 milhões em 2006, para as exportações brasileiras de rochas. Não se vislumbra uma perspectiva concreta de atendimento ou ampliação das metas de exportação projetadas, a partir das condições tributárias, de acesso à crédito e acesso à tecnologia vigentes para as pequenas e médias empresas no Brasil.

CENÁRIO MUNDIAL

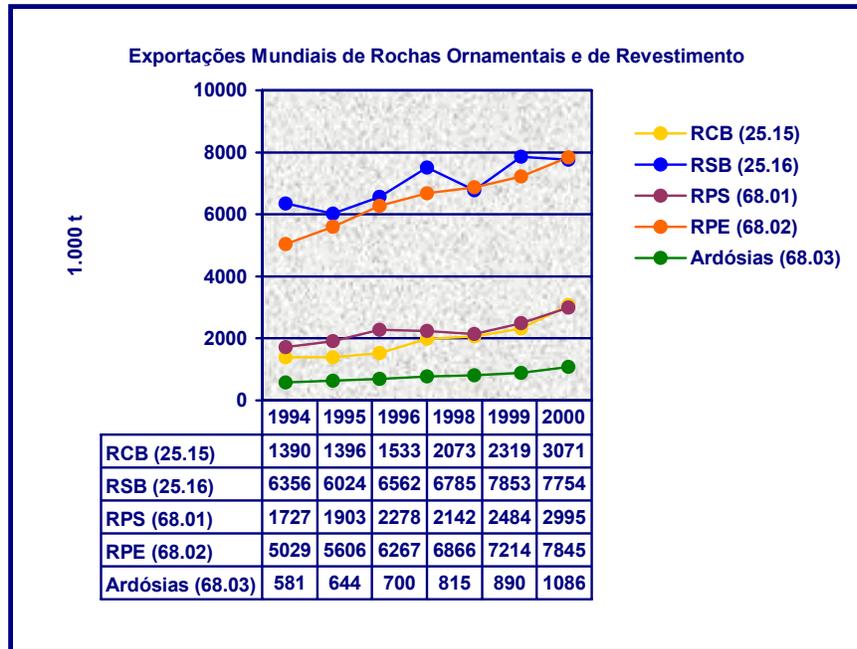
A produção mundial noticiada de rochas ornamentais e de revestimento é de aproximadamente 60 milhões t/ano, tendo evoluído de um patamar de apenas 1,5 milhões de t/ano na década de 20. Estima-se que os negócios do setor movimentem pelo menos US\$ 40 bilhões/ano, colocando-se 23 milhões t em rochas brutas e processadas no mercado internacional.

Cerca de 70% da produção mundial é transformada em chapas e ladrilhos para revestimentos, 15% é desdobrada em peças para arte funerária, 10% para obras estruturais e 5% para outros campos de aplicações. O consumo de rochas é estimado em 650 milhões de m²/ano, sendo os produtos cerâmicos, com um consumo de 4 bilhões de m²/ano, seus principais concorrentes na construção civil.

| Produção Mundial de Rochas Ornamentais e de Revestimento: Perfil Histórico | | | | | | | |
|---|---------------------|------|--------------------|------|----------|------|--------|
| | Rochas Carbonáticas | | Rochas Silicáticas | | Ardósias | | Total |
| | 1.000 t | % | 1.000 t | % | 1.000 t | % | |
| 1926 | 1.175 | 65,6 | 175 | 9,8 | 440 | 24,6 | 1.790 |
| 1976 | 13.600 | 76,4 | 3.400 | 19,1 | 800 | 4,5 | 17.800 |
| 1986 | 13.130 | 60,5 | 7.385 | 34,0 | 1.195 | 5,5 | 21.710 |
| 1996 | 26.450 | 56,9 | 17.625 | 37,9 | 2.425 | 5,2 | 46.500 |
| 1997 | 27.650 | 55,8 | 19.350 | 39,1 | 2.500 | 5,1 | 49.500 |
| 1998 | 29.400 | 57,6 | 19.000 | 37,3 | 2.600 | 5,1 | 51.000 |
| 1999 | 31.300 | 57,4 | 20.350 | 37,3 | 2.850 | 5,3 | 54.500 |
| 2000 | 34.500 | 57,8 | 21.700 | 36,3 | 3.450 | 5,9 | 59.650 |

Fonte: MONTANI, Carlo. *STONE 2001; Repertório Economico Mondiale.*

¹ Extraído, com modificações e atualizações, do documento "Rochas Ornamentais no Século XXI – Bases para uma Política de Desenvolvimento Sustentado das Exportações Brasileiras", elaborado pelo Centro de Tecnologia Mineral – CETEM para a Associação Brasileira das Indústrias de Rochas Ornamentais – ABIROCHAS em 2001.



Fonte: MONTANI, Carlo. **STONE 2001**; *Repertorio Economico Mondiale*.
 RCB – rochas carbonáticas em bruto; RSB – rochas silicáticas em bruto; RPS – rochas processadas simples; RPE – rochas processadas especiais.

As projeções de consumo/produção e exportações mundiais indicam a manutenção da tendência de crescimento do mercado internacional. Por exemplo, para 2025, projeta-se a quintuplicação do consumo mundial e transações internacionais de 2,1 bilhões de m² equivalentes/ano.

CARACTERIZAÇÃO COMERCIAL

Do ponto de vista comercial, as rochas ornamentais e de revestimento são basicamente classificadas em granitos e mármore, que perfazem cerca de 90% da produção mundial. Ardósias, quartzitos, pedra sabão, serpentinitos, basaltos, conglomerados naturais, também se destacam setorialmente.

A média dos preços internacionais para blocos de mármore e granitos, situa-se entre US\$ 400 e 1.200/m³, enquanto que o preço médio do material beneficiado varia de US\$ 30 a 60/m². O padrão cromático é o principal atributo considerado para qualificação comercial de uma rocha.

Como materiais dimensionais, portanto aproveitados em volume, as rochas ornamentais e de revestimento têm valor comercial muito significativo frente a outras matérias primas minerais. O quadro comparativo do seu valor em peso relativamente aos minérios de ferro e ouro, que constituem *commodities* minerais bastante conhecidos e importantes na pauta brasileira de produção e exportação, é apresentado abaixo e permite ilustrar a questão:

| Ferro ⁽¹⁾ | Ouro ⁽²⁾ | Rochas Ornamentais ⁽³⁾ |
|----------------------|---------------------|-----------------------------------|
| US\$ 22/tonelada | US\$ 93/tonelada | US\$ 185/tonelada |

(1) Valor base do minério US\$ 22/t.

(2) Valor base de US\$ 9,3/g, em minério com teor de 10 g/t.

(3) Valor médio de US\$ 500/m³ no mercado internacional, atribuindo-se densidade de 2,7 t/m³.

Observando-se a média de preços das rochas ornamentais e de revestimento nos mercados interno e externo, refere-se que o índice de agregação de valor na venda de blocos é equivalente a três vezes o seu custo de produção. Cada metro cúbico de rocha desdobra de 32 a 35 m² de chapas, permitindo gerar cerca de R\$ 3.200 em produtos acabados no mercado interno, ou US\$ 3,000 no mercado externo.

DESTAQUES DO MERCADO INTERNACIONAL

Mundialmente, a Itália é um dos principais “players” do setor, colocando-se entre os maiores produtores, como maior importadora de material bruto, maior consumidora *per capita* e maior exportadora de tecnologia, tendo sido responsável em 2000 por 31,5% em peso das transações de rochas processadas especiais e 48% em peso das transações de máquinas e equipamentos, no mercado internacional.

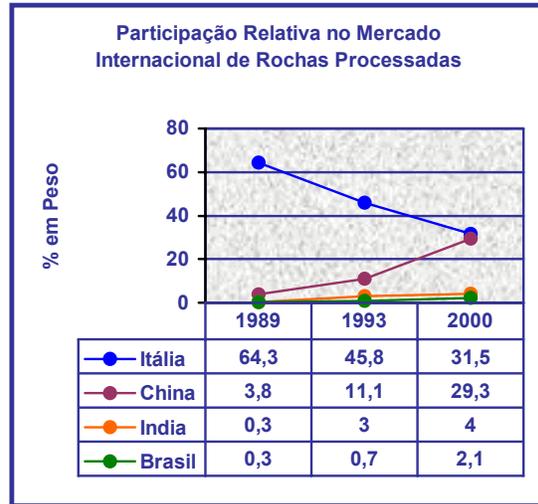
Os EUA, seguidos do Japão, são por sua vez os principais importadores de produtos acabados, tendo respondido por 32,4% em peso das transações

mundiais em 1999. A China é a maior importadora de máquinas e equipamentos, tendo absorvido 11,4% em peso do total comercializado no mercado internacional em 2000.

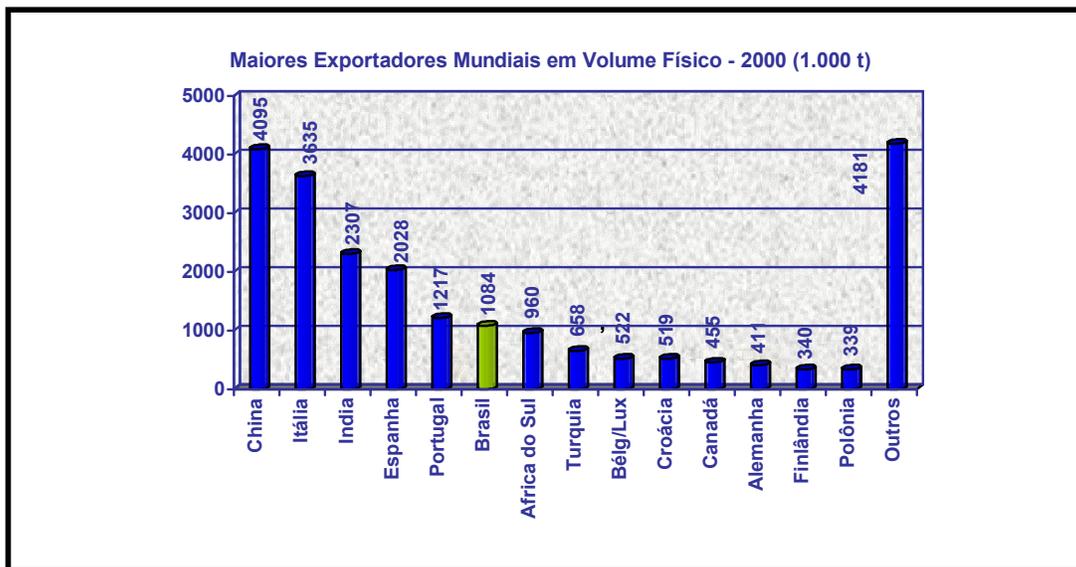
Dentre os doze principais países produtores, oito pertencem ao grupo dos principais consumidores e nove ao dos principais exportadores de rochas processadas, atestando a forte ligação entre mercado interno, produção e volume de negócios. A Itália, Espanha, Japão, Alemanha, EUA e França foram responsáveis por 38,2% do consumo mundial noticiado em 2000.

A participação brasileira no mercado internacional de rochas processadas é ainda limitada e está bastante aquém da posição da China e Índia, nossos principais concorrentes. Observou-se uma queda acentuada de participação da Itália com o comércio de rochas processadas, sobretudo devido ao crescimento da Índia e particularmente da China no mercado asiático, ao longo da década de 90.

A Itália ainda se destaca no entanto como origem da maior parte dos principais fluxos comerciais de rochas processadas especiais. A China respondeu, com o Japão, pelo maior fluxo comercial de rochas processadas, em peso, do ano de 2000. O principal fluxo comercial brasileiro de rochas processadas, excluindo-se as posições 68.01 e 68.03, é mantido com os EUA e situou-se na 7ª. posição do ranking mundial em 2000.



Fonte: Stone, 2000 e2001.



Fonte: MONTANI, Carlo. STONE 2001; Repertorio Economico Mondiale.

SITUAÇÃO BRASILEIRA

▪ Quadro Setorial

O quadro setorial brasileiro pode ser ilustrado pela produção de 500 variedades comerciais de rochas, entre granitos, mármore, ardósias, quartzitos, travertinos, pedra sabão, basaltos, serpentinitos, conglomerados, pedra talco e materiais do tipo pedra Miracema, pedra Cariri e pedra Mourisca, derivadas de quase 1.300 frentes de lavra. Os granitos perfazem cerca de 60% da produção brasileira, enquanto 20% são relativos a mármore e travertinos e quase 8% a ardósias.

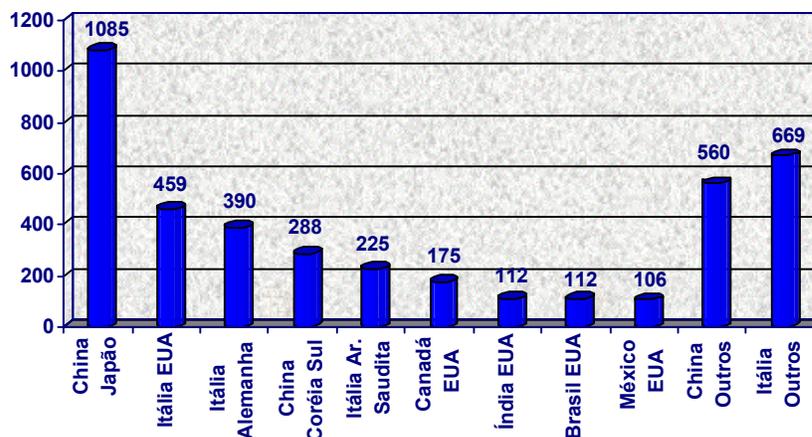
O setor brasileiro de rochas ornamentais movimentou cerca de US\$ 2,1 bilhões/ano, incluindo-se a comercialização nos mercados interno e externo e as transações com máquinas, equipamentos, insumos, materiais de consumo e serviços, gerando cerca de 105 mil empregos diretos em aproximadamente 10.000 empresas. O mercado interno é responsável por 80% das transações comerciais e as marmorarias representam 65% do universo das empresas do setor.

O desdobramento dos blocos de rochas ornamentais no Brasil se dá principalmente através da utilização de teares. O parque de beneficiamento opera com quase 1.600 teares, e tem capacidade de serragem estimada em 40 milhões de m²/ano.

| Valor Estimado das Transações Comerciais do Setor no Brasil – 2000 | | |
|--|-----------------|-----------------|
| | R\$ milhões | US\$ milhões |
| Exportações | 502,27 | 271,54 |
| Importações | 40,57 | 21,93 |
| Mercado Interno | 3.285,00 | 1.775,67 |
| Máquinas, Insumos e Serviços | 100,00 | 54,05 |
| Total | 3.927,84 | 2.123,19 |

(Base US\$ 1,00 = R\$ 1,85)

Principais Fluxos Comerciais de Rochas Processadas Especiais (1.000 t) - Posição 68.02 - 2000



Fonte: MONTANI. Carlo. **STONE 2001: Repertorio Economico Mondiale.**

▪ Produção

A produção brasileira de rochas totaliza 5,2 milhões de toneladas/ano. Os estados do Espírito Santo, Minas Gerais e Bahia respondem por 80% da produção nacional. O estado do Espírito Santo é o principal produtor, com 47% do total brasileiro. O estado de Minas Gerais é o segundo maior produtor e responde pela maior diversidade de rochas extraídas.

| Quadro de Produção de Rochas no Brasil - 2000 | | |
|---|------------------|------------------|
| Tipo de Rocha | Quantidade (t) | Participação (%) |
| Granitos | 2.964.280 | 56,7 |
| Mármore | 959.800 | 18,3 |
| Ardósias | 450.000 | 8,6 |
| Quartzitos Foliados | 281.000 | 5,4 |
| Pedra Miracema | 182.000 | 3,5 |
| Quartzitos Maciços | 63.700 | 1,2 |
| Pedra Cariri | 60.000 | 1,1 |
| Arenitos | 49.000 | 0,9 |
| Basaltos | 39.120 | 0,7 |
| Pedra Sabão / Serpentinito | 38.500 | 0,7 |
| Pedra Morisca | 3.600 | 0,07 |
| Outras | 137.600 | 2,6 |
| Total | 5.228.600 | 100 |

▪ Exportações

Considerando-se as 26 NCM's discriminadas no presente trabalho, para enquadramento das rochas ornamentais e de revestimento, as exportações brasileiras de 2000 atingiram US\$ 271,54 milhões e 1,1 milhão de toneladas, com variação positiva de respectivamente 16,8% e 12% em relação a 1999. A falta de especificidade das NCM's utilizadas pelo setor deixa dúvidas quanto à verdadeira natureza do material considerado, impondo dificuldades para cálculos quantitativos e avaliações qualitativas das exportações brasileiras.

As rochas processadas representaram 25,3% em peso e 56,5% em valor dessas exportações em 2000, evidenciando os maiores índices de crescimento em relação a 1999. No ano de 1999, cerca de 71% das exportações de rochas processadas, em valor, foram destinadas aos EUA, enquanto que para a Itália foram remetidos 40% em peso das exportações de rochas brutas, caracterizando uma concentração muito elevada de vendas para esses dois mercados.

Destaca-se um aumento contínuo das exportações brasileiras durante toda a década de 90. A barreira dos US\$ 100 milhões foi ultrapassada em 1993 e a dos US\$ 200 milhões atingida em 1997. A tendência registrada a partir de 1996, mostra recuo das exportações de rochas silicáticas em bruto e pequena expressão das rochas carbonáticas em bruto.

| Relação de NCM's Utilizadas para Enquadramento das Exportações | | |
|--|--|---|
| TIPOLOGIA | NCM | DENOMINAÇÃO |
| ROCHAS PROCESSADAS (RP) | 6802.10.00 | Ladrilhos de pedra natural/serrada superficialmente |
| | 6802.21.00 | Chapas de mármore e travertinos |
| | 6802.22.00 | Pedras calcárias talhadas |
| | 6802.23.00 | Granito talhado ou serrado |
| | 6802.29.00 | Pedras de cantaria |
| | 6802.92.00 | Pedras calcárias trabalhadas |
| | 6802.99.10 | Esferas p/ moinho de outras pedras de cantaria |
| | 6802.99.90 | Pedras de cantaria, trabalhadas |
| | 6803.00.00 | Ardósia natural, trabalhada |
| | 6801.00.00 | Pedra p/ calcetar meio-fio e placa p/ pavimentação |
| | 2514.00.00 | Ardósias incluindo desbastadas |
| | 2526.10.00 | Esteatita natural, não triturada nem em pó |
| 6815.99.90 | Obras de pedras ou de outros materiais | |
| ROCHAS SILICÁTICAS EM BRUTO (RSB) | 2506.21.00 | Quartzitos em bruto ou desbastados |
| | 6802.93.10 | Esferas para moinho, de granito |
| | 6802.93.90 | Granitos trabalhados |
| | 2516.12.00 | Granito cortado em blocos ou placas |
| | 2516.11.00 | Granito em bruto ou desbastado |
| | 2516.21.00 | Arenito em bruto ou desbastado |
| | 2516.22.00 | Arenito cortado em blocos ou placas |
| 2516.90.00 | Pedras de cantaria ou de construção | |
| ROCHAS CARBONÁTICAS EM BRUTO (RCB) | 6802.91.00 | Mármore, travertinos, etc. |
| | 2515.11.00 | Travertinos em bruto ou desbastados |
| | 2515.12.10 | Mármore cortados em blocos ou placas |
| | 2515.20.00 | Granitos belgas |
| 2515.12.20 | Travertinos cortados em blocos ou placas | |

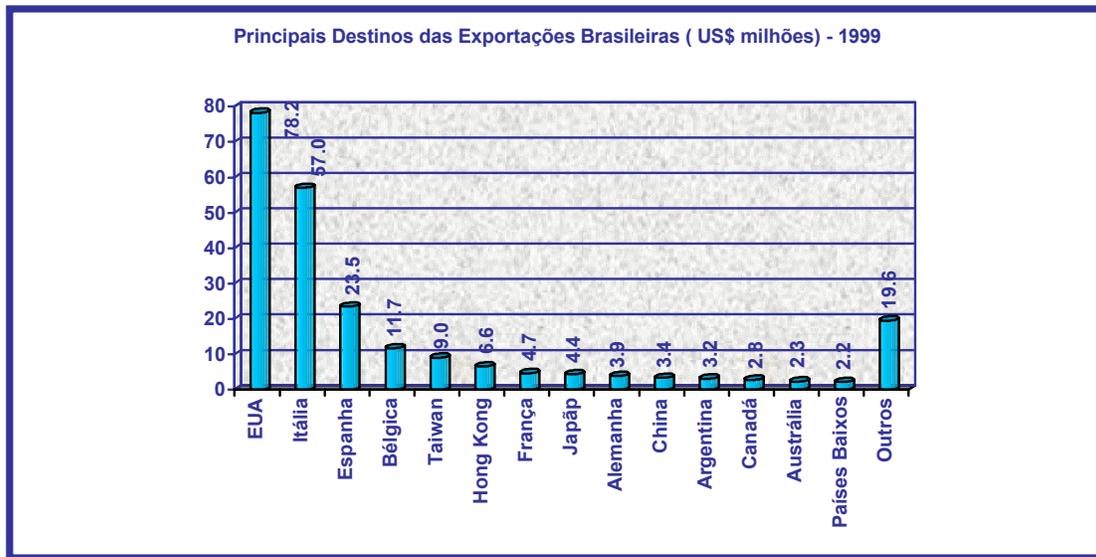
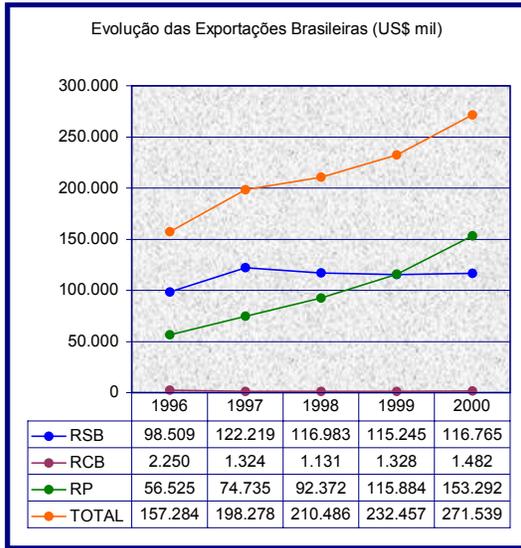
No ano 2000, o Brasil teve participação de 0,1% nas exportações mundiais de rochas carbonáticas brutas (posição 25.15), de 10,4% nas de rochas silicáticas brutas (posição 25.16), de 1,3% nas de rochas processadas simples (posição 68.01), de 2,1% nas de rochas processadas especiais (posição 68.02) e 6,4% nas de ardósias (posição 68.03), compondo 4,8% do volume físico do intercâmbio mundial.

foliados, bem como a participação de pedra sabão e serpentinitos nas exportações. Tais materiais, caracterizados pela produção e beneficiamento regionalizados, já representaram 13,6% em valor e 10,4% em peso das exportações brasileiras de rochas no ano 2000.

As exportações do Espírito Santo, Minas Gerais e Bahia, que são os principais estados produtores, totalizaram cerca de US\$ 210 milhões em 2000. O Espírito Santo consolidou sua posição de principal produtor e exportador, respondendo no ano de 2000 por 44%, em peso e valor, do total das exportações brasileiras. O Rio de Janeiro teve um dos mais expressivos crescimentos de exportação de rochas processadas.

São declinantes desde 1998, em peso e valor, as exportações totais e sobretudo de rochas graníticas de Minas Gerais, que têm seus negócios centrados na venda de blocos para grandes compradores italianos. Esta queda foi atenuada pelo expressivo crescimento das ardósias e quartzitos foliados, que em 2000 já representaram 47,9% em valor das exportações mineiras de rochas.

Situação menos aguda, porém semelhante, é observada para a Bahia, cujas exportações foram ultrapassadas pelo Rio de Janeiro em 2000. A questão da agregação de valor dos produtos beneficiados pode ser aqui exemplificada, pois em peso o Rio de Janeiro exportou 32% do total da Bahia, enquanto em valor as exportações cariocas



Esse desempenho posicionou o Brasil como 6º maior exportador mundial de rochas em volume físico, atrás da Itália, China, Índia, Espanha e Portugal e à frente da África do Sul, Turquia, Coreia do Sul, Grécia, Finlândia e Alemanha. Quanto às exportações de granitos brutos, o Brasil colocou-se em 4º lugar, atrás da Índia, África do Sul e China, situando-se em 8º lugar das exportações mundiais de rochas processadas e, junto com a China, como 2º maior exportador de ardósias.

foram 5% maiores que as baianas.

O melhor desempenho do Espírito Santo e do Rio de Janeiro com exportação de rochas graníticas processadas, bem como de Minas Gerais com ardósias e quartzitos foliados, está lastreado na existência de parques industriais de beneficiamento e em uma base de competitividade firmada para produtos acabados/semi-acabados no mercado interno. Tais atributos acabaram por viabilizar até o incremento das exportações de blocos de granito, agora não controladas por grandes contratos de exclusividade, pelo estado do Espírito Santo.

Observou-se expressivo crescimento das exportações brasileiras de ardósias e quartzitos

O número total de empresas exportadoras cresceu de 332 em 1997 para 508 no ano 2000, destacando-se o incremento daquelas que operam pelos códigos de rochas processadas. Os incrementos mais expressivos referem-se aos códigos 6802.23.00 (chapas de granito) e 6803.00.00 (ardósias trabalhadas).

Avaliando-se o perfil de distribuição das empresas exportadoras no Brasil, observa-se forte concentração na região sudeste e um nítido processo de interiorização do setor. Os incrementos mais significativos do número de empresas exportadoras, de 1997 para 2000, ocorreram no Espírito Santo (86 para 154), São Paulo (38 para 86), Santa Catarina (3 para 11) e Paraná (12 para 25).

| Principais Estados Exportadores de Rochas Ornamentais e de Revestimento – Ano 2000 | | | | | | | | |
|--|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|------------------|-------------------|------------------|------------------|
| NBM/NCM | Minas Gerais | | Espírito Santo | | Bahia | | Rio de Janeiro | |
| | US\$ mil | Ton | US\$ mil | Ton | US\$ mil | Ton | US\$ mil | Ton |
| 2506.21.00 | 393,46 | 782,03 | 211,00 | 273,77 | 3.620,60 | 6.892,73 | | |
| 2515.11.00 | | | 10,85 | 88,51 | 7,14 | 73,57 | 11,27 | 120,42 |
| 2515.12.10 | 48,73 | 316,16 | 182,98 | 1.108,79 | 1,24 | 36,56 | | |
| 2515.12.20 | | | | | | | | |
| 2515.20.00 | | | | | | | | |
| 2516.11.00 | 25,04 | 1.519,02 | 290,16 | 1.767,42 | 12.223,30 | 85.178,30 | 379,10 | 3.181,06 |
| 2516.12.00 | 10.801,74 | 83.693,96 | 13.537,83 | 115.379,47 | 2.074,80 | 16.398,37 | 381,72 | 1.165,87 |
| 2516.21.00 | | | | | | | | |
| 2516.22.00 | | | | | | | | |
| 2516.90.00 | 42,05 | 243,26 | | | | | | |
| 6801.00.00 | 8.313,73 | 35.417,61 | | | | | 114,60 | 509,15 |
| 6802.10.00 | 43,46 | 55,66 | 90,82 | 120,25 | | | 22,89 | 17,86 |
| 6802.21.00 | | | 157,74 | 328,76 | 4,23 | 12,00 | 16,87 | 61,99 |
| 6802.22.00 | 2,13 | 3,54 | | | | | | |
| 6802.23.00 | 1.132,12 | 1.870,14 | 61.061,80 | 89.503,30 | 2.278,92 | 2.512,29 | 19.959,89 | 26.671,46 |
| 6802.29.00 | 2.795,80 | 5.572,42 | | | 11,14 | 26,40 | | |
| 6802.91.00 | 69,09 | 289,34 | 827,50 | 4.252,62 | 56,31 | 838,30 | 82,12 | 298,70 |
| 6802.92.00 | | | | | | | | |
| 6802.93.10 | | | | | | | | |
| 6802.93.90 | 22.682,76 | 151.455,75 | 39.646,75 | 274.800,25 | 641,34 | 2.978,12 | 612,71 | 4.146,33 |
| 6802.99.10 | | | | | | | | |
| 6802.99.90 | 453,33 | 1.385,85 | 0,19 | 0,02 | | | 0,91 | 25,20 |
| 6803.00.00 | 24.684,74 | 66.287,04 | 33,40 | 55,86 | 2,25 | 14,15 | 93,56 | 332,91 |
| 2514.00.00 | 1.796,90 | 3.419,32 | 4,00 | 22,00 | | | 52,38 | 426,93 |
| 2526.10.00 | 126,32 | 488,51 | | | | | | |
| 6815.99.90 | 11,83 | 6,90 | | | 0,65 | 0,30 | 308,83 | 104,77 |
| TOTAL | 73.423,23 | 352.806,51 | 116.055,02 | 487.701,02 | 20.921,92 | 114.961,09 | 22.036,85 | 36.957,88 |
| Variação % | -2,5% | -9,23% | +37,1% | +36,7% | +9,5% | +2,4% | +30,3% | +52,5% |

Fonte: SECEX/DECEX

| Evolução do Número de Empresas Exportadoras de Rochas pelos códigos da Nomenclatura Comum do Mercosul - NCM | | | | | | |
|---|------------------------------------|---|------------|------------|------------|------------|
| TIPO | NCM | DENOMINAÇÃO | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 |
| Rochas Processadas | 6802.10.00 | Ladrilhos de pedra natural/serrada superficialmente | 1 | 5 | - | 3 |
| | 6802.21.00 | Chapas de mármore e travertinos | 7 | 13 | 11 | 11 |
| | 6802.22.00 | Pedras calcárias talhadas | 2 | 3 | - | 2 |
| | 6802.23.00 | Granito talhado ou serrado | 68 | 89 | 130 | 171 |
| | 6802.29.00 | Pedras de cantaria | 6 | 8 | 7 | 11 |
| | 6802.92.00 | Pedras calcárias trabalhadas | - | 1 | 1 | - |
| | 6802.99.10 | Esferas p/ moinho de outras pedras de cantaria | - | - | 1 | 1 |
| | 6802.99.90 | Pedras de cantaria, trabalhadas | 19 | 20 | 13 | 21 |
| | 6803.00.00 | Ardósia natural, trabalhada | 34 | 45 | 44 | 60 |
| | 6801.00.00 | Pedra p/ calcetar meio-fio e placa p/ pavimentação | 22 | 23 | 28 | 24 |
| | 2514.00.00 | Ardósias incluindo desbastadas | 2 | 8 | 13 | 13 |
| | 2526.10.00 | Esteatita natural, não triturada nem em pó | 1 | 1 | 4 | 4 |
| | 6815.99.90 | Obras de pedras ou de outros materiais | 22 | 17 | 12 | 18 |
| | Subtotal Rochas Processadas | | | 184 | 233 | 264 |
| Rochas Silicáticas Brutas | 2506.21.00 | Quartzitos em bruto ou desbastados | 9 | 6 | 9 | 16 |
| | 6802.93.10 | Esferas para moinho, de granito | 22 | 2 | 1 | - |
| | 6802.93.90 | Granitos trabalhados | 94 | 125 | 116 | 96 |
| | 2516.12.00 | Granito cortado em blocos ou placas | 12 | 7 | 17 | 21 |
| | 2516.11.00 | Granito em bruto ou desbastado | 5 | 3 | 13 | 32 |
| | 2516.21.00 | Arenito em bruto ou desbastado | 1 | - | 1 | - |
| | 2516.22.00 | Arenito cortado em blocos ou placas | 2 | 1 | 2 | 1 |
| | 2516.90.00 | Pedras de cantaria ou de construção | - | - | 3 | 4 |
| Subtotal Rochas Silicáticas Brutas | | | 145 | 144 | 162 | 170 |
| Rochas Carbonáticas Brutas | 6802.91.00 | Mármore, travertinos, etc. | 13 | 9 | 10 | 9 |
| | 2515.11.00 | Travertinos em bruto ou desbastados | 1 | 3 | 5 | 3 |
| | 2515.12.10 | Mármore cortados em blocos ou placas | 9 | 3 | 8 | 9 |
| | 2515.20.00 | Granitos belgas | - | 1 | 4 | 2 |
| | 2515.12.20 | Travertinos cortados em blocos ou placas | - | - | - | - |
| Subtotal Rochas Carbonáticas Brutas | | | 23 | 16 | 27 | 23 |
| Total Geral* | | | 352 | 393 | 453 | 532 |

(*) Inclui repetições de empresas que exportam por mais de uma posição da NCM (o número efetivo de empresas exportadoras foi de 332 em 1997, 371 em 1998, 433 em 1999 e 508 em 2000).

| Distribuição das Empresas Exportadoras de Rochas no Brasil | | | | |
|--|------------|------------|------------|------------|
| Unidades da Federação | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 |
| Alagoas | 1 | 1 | 2 | 3 |
| Bahia | 35 | 30 | 26 | 35 |
| Ceará | 12 | 8 | 3 | 5 |
| Espírito Santo | 86 | 104 | 123 | 154 |
| Minas Gerais | 73 | 76 | 86 | 86 |
| Mato Grosso do Sul | 5 | 8 | 4 | 9 |
| Pará | 2 | 2 | 1 | 3 |
| Pernambuco | 11 | 9 | 10 | 10 |
| Paraná | 12 | 16 | 21 | 25 |
| Rio de Janeiro | 37 | 40 | 43 | 45 |
| Rio Grande do Sul | 17 | 16 | 22 | 24 |
| Santa Catarina | 3 | 5 | 6 | 11 |
| São Paulo | 38 | 51 | 73 | 86 |
| Distrito Federal | | 2 | 1 | 1 |
| Mato Grosso | | 1 | 1 | 1 |
| Paraíba | | 1 | 1 | 3 |
| Rondônia | | 1 | 2 | 1 |
| Acre | - | - | 5 | 1 |
| Goiás | - | - | 2 | 2 |
| Piauí | - | - | 1 | 1 |
| Amazonas | - | - | - | 1 |
| Rio Grande do Norte | - | - | - | 1 |
| Total | 332 | 371 | 433 | 508 |

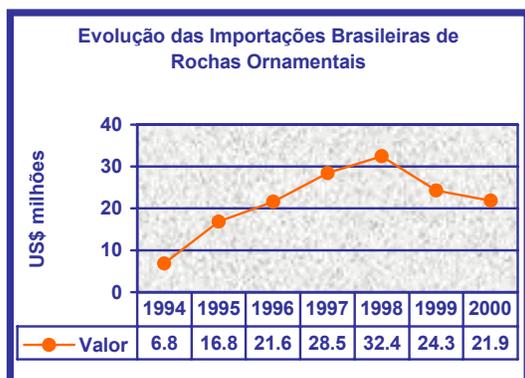
Nas exportações brasileiras de rochas no ano 2000, registrou-se incremento de 16,8% em valor e 12% em peso frente a 1999, observando-se crescimento de 5,9% na participação em peso das rochas processadas no total exportado. Pelos índices de crescimento atingidos no volume físico e na participação em peso de rochas processadas, as exportações de 2000 deveriam ter de fato totalizado US\$ 289,6 milhões, isto se fosse mantida a base de preços de 1999. Tal discrepância é justificada por uma desvalorização de 6,44% nos produtos exportados em 2000.

A desvalorização dos produtos brasileiros é atribuída à busca de competitividade no mercado internacional, sobretudo frente a países que, como China e Índia, têm mantido uma agressiva política de adequação de preços em suas exportações. Aventa-se nesse cenário, um processo complementar de desvalorização de até 15 a 20% ao longo dos próximos cinco anos, quando se espera que ocorra estabilização de preços no mercado internacional de rochas para ornamentação e revestimento.

▪ Importações

No ano 2000, as importações brasileiras totalizaram US\$ 21,9 milhões e registraram queda de 10,0% em relação a 1999, invertendo-se uma tendência forte de incremento ao longo de toda a década de 1990. A grande maioria das importações refere-se a chapas de mármore e travertinos, sobretudo provenientes da Itália, Espanha e Grécia.

O crescimento da importação na década de 1990 foi decorrente da queda das alíquotas do imposto de importação, suprimindo uma deficiência de atendimento para o mercado imobiliário de alto padrão. As quedas registradas em 1999 e 2000 foram decorrentes da desvalorização cambial promovida no início do ano de 1999.



▪ Consumo Interno

O consumo interno aparente de blocos de mármore e granito, segundo dados oficiais do Sumário Mineral Brasileiro, foi de 1,67 milhões de toneladas no ano de 1999, com crescimento 19,7% em relação a 1998. Esses valores de 1999 seriam equivalentes a 18,3 milhões de m²/ano e corresponderiam a 3,5% do consumo mundial de chapas, traduzindo um consumo *per capita* de 7 a 8

kg/ano de mármore e granitos. Se for no entanto considerada a produção real de blocos de mármore e granito estimada neste trabalho, bem como a das demais variedades de rochas exploradas no Brasil, o consumo interno atinge cerca de 50 milhões m²/ano, equivalentes a 25 kg *per capita*.

CONCLUSÕES

Projetando-se um crescimento anual de 15% em valor para as exportações brasileiras, compatível à taxa média dos últimos 3 anos e portanto factível para os próximos 3 anos, seria atingido um patamar de US\$ 355 milhões em 2002 e de US\$ 618 milhões em 2006. No ano 2000, as exportações brasileiras sofreram um incremento de 12% em peso e de 5,9% na participação percentual em peso de rochas processadas no total exportado, traduzindo o referido crescimento de 16,8% em valor sobre 1999.

Com base em uma simulação compatível à performance do ano 2000, que admite incremento de 10% ao ano em peso das exportações, além de incremento de 5% ao ano de participação percentual em peso de rochas processadas no total exportado, as exportações brasileiras atingiriam faturamento de US\$ 750 milhões no ano de 2006; isto representaria a duplicação em peso e a triplicação em valor das exportações brasileiras. Se for admitido incremento de 10% ao ano de participação percentual em peso de rochas processadas no total exportado, teríamos a mesma duplicação em peso porém quadruplicação em valor das exportações, atingindo-se US\$ 1 bilhão no ano de 2006.

Estudos recentes do Banco Mundial mostram que a cada US\$ bilhão exportado gera-se de 50 mil a 70 mil empregos. Considerando-se a projeção de 15% de incremento anual das exportações do setor de rochas, pode-se assim estimar a geração de no mínimo 17,5 mil a 24,5 mil empregos até o ano 2006. Segundo outras simulações, que prevêem crescimento mais acentuado e possível de participação de rochas processadas nas exportações, o setor poderá gerar até 54,1 mil empregos no mesmo período.

A partir de simulações de demanda para o parque industrial, elaboradas através das projeções de exportação e consumo no mercado interno, vislumbra-se a necessidade de agregação de no mínimo 560 novos teares, 190 novas politrizes e 50 novos talha-blocos, até o ano 2006. O atendimento das demandas necessárias para atualização do parque industrial, prevê investimentos de no mínimo US\$ 1 bilhão até 2015. A indústria de bens de capital, instalada no Brasil, não tem capacidade de atendimento da demanda projetada.

Objetivando-se o atendimento da demanda projetada de serragem para 2015, será necessário atingir uma produção primária de blocos da ordem de 14 milhões t/ano, o que representa um incremento de 3,5 vezes a atual produção. Considerando-se um universo estabilizado de 1.000 pedreiras ativas no Brasil, seriam necessários investimentos de conversão da atual produção primária média de 150 m³/mês por pedreira, para cerca de 500 m³/mês, o que representa investimentos em bens de capital de

cerca de US\$ 350 mil por pedreira até 2015, totalizando-se US\$ 350 milhões.

O parque industrial brasileiro de beneficiamento encontra-se tecnologicamente defasado, sobretudo pela antiguidade das máquinas e equipamentos em operação. A modernização desse parque industrial poderá ser viabilizada tanto através da adequação/automação das máquinas e equipamentos já instalados e com até 10 anos de uso, quanto sobretudo através da aquisição de bens de capital nacionais e importados tecnologicamente atualizados.

Deve-se mencionar que a maior parte dos teares em operação no Brasil tem mais de 10 anos de atividade e não incorporaram equipamentos periféricos que otimizariam sua produtividade. Pode-se neste sentido destacar a importância de acoplamento de dosadores de cal, recuperadores de granalha, ajustadores automáticos de biela, tensionadores hidráulicos de lâmina e controles automáticos de cala.

O fortalecimento do mercado interno, considerado básico para o desenvolvimento das exportações de produtos acabados e serviços, exige investimentos para modernização das marmorarias, destacando-se que, exceção feita às fresa-pontes, inexistente produção brasileira de máquinas para acabamento.

RECOMENDAÇÕES

A curto prazo, tendo em vista maior competitividade frente a China e Índia no mercado internacional, enfatiza-se a necessidade de aquisição de bens de capital específicos, importados sem barreiras tarifárias, para a modernização do parque industrial brasileiro de serragem e polimento. Reitera-se a necessidade de adequação das linhas de crédito e uma ampla reformulação das bases tributárias, pois o setor de rochas ornamentais e de revestimento é constituído por pequenas e médias empresas, atualmente alijadas dos recursos disponíveis e com sua competitividade prejudicada pelos impostos e taxas vigentes.

A curto e médio prazos aponta-se como relevantes: a modernização das marmorarias, como base para o fortalecimento do mercado interno e exportação de produtos acabados e serviços; a capacitação tecnológica da indústria brasileira de máquinas e equipamentos, visando sua adequação qualitativa e quantitativa de atendimento dos mercados interno e externo; e, a qualificação dos insumos e materiais de consumo do beneficiamento, para otimização da serragem e polimento de chapas e lajotas.

A médio e longo prazos aponta-se a necessidade de utilização de teares, politrizes e talha-blocos mais produtivos que os atuais, para adequação do parque industrial brasileiro e atendimento da demanda projetada nos mercados interno e externo. As projeções de incremento de material serrado e o número crescente de teares e talha-blocos necessário para tal, leva a concluir pela

necessidade de modificação do atual perfil tecnológico de máquinas e equipamentos.

Uma das questões de maior interesse para o desenvolvimento do setor diz respeito à articulação dos arranjos regionais de negócios minero-industriais (*clusters*), através da caracterização do perfil do mercado consumidor, da formulação de bases para criação de cooperativas de produtores/beneficiadores, da montagem de consórcios de exportação, da composição de centrais de matérias primas e centrais de beneficiamento e, da capacitação de centros de pesquisa para estudos de aproveitamento industrial de resíduos, caracterização tecnológica e diversificação de produtos comerciais, certificação de origem das rochas e aprimoramento de insumos.

Conclui-se destacando não ser possível dissociar o desenvolvimento do setor, da capacitação tecnológica da indústria brasileira de máquinas, equipamentos e insumos, para lavra, beneficiamento e acabamento de rochas. Destaca-se ainda que o incremento consistente das exportações de rochas processadas e serviços será, em grande medida, decorrência do fortalecimento setorial no mercado interno. Não se vislumbra uma perspectiva concreta de atendimento ou ampliação das metas de exportação projetadas, a partir das condições vigentes para o setor no Brasil.

COMENTÁRIOS ADICIONAIS

Ao longo dos últimos cinco anos registrou-se um crescimento médio de 15% ao ano, em valor, das exportações de rochas ornamentais brasileiras. Este crescimento foi muito significativo e alavancado pelas transações de produtos processados de granitos, ardósias e quartzitos foliados.

No ano 2000, as exportações totais de rochas somaram US\$ 271,5 milhões, o que representou incremento de 16,8% sobre 1999. As exportações de rochas processadas em 2000 atingiram US\$ 153,3 milhões, o que por sua vez representou 56,5% do total exportado e um incremento de 32,3% em valor sobre 1999.

Projetava-se assim grande expectativa para 2001, estimando-se crescimento que poderia alcançar até 20% em valor sobre o ano 2000. Um conjunto inesperado de fatores adversos contrariou, no entanto, todas as projeções para os mercados interno e externo, fazendo reverter as esperadas taxas de crescimento das transações comerciais.

No plano interno, contribuíram para essa frustração diversas questões extrínsecas ao setor de rochas, podendo-se mencionar a recorrência da pressão inflacionária, a alta taxa de desvalorização cambial e a crise econômica da vizinha Argentina. Destaca-se sobretudo o racionamento de energia, determinado pelo governo federal, e a cobrança de IPI novamente imposta aos produtos do setor de rochas.

No plano externo, concorreram a não superação da crise econômica japonesa, o crescimento pífio da economia dos países da União Européia e a desaceleração do crescimento da

economia norte-americana. A este quadro negativo somou-se o atentado perpetrado no World Trade Center de Nova York, no último dia 11 de setembro.

Ainda antes do atentado observava-se indicadores negativos, relacionados a fatores puramente econômicos do mercado internacional e evidenciados pela queda das taxas de crescimento das exportações brasileiras de rochas. Já no primeiro trimestre de 2001 registrou-se incremento de apenas 11,89% em valor sobre igual período do ano anterior, tendo-se anotado crescimento de 3,72% ao final do primeiro semestre e taxa negativa de 1,35% no período de janeiro/agosto.

Especificamente para ardósias, na posição 6803.00.00, a taxa de crescimento recuou de 25,81% no primeiro trimestre, para 19,80% ao final do primeiro semestre de 2001. Na posição 6802.23.00, que agrega as principais exportações de chapas de granito, a taxa de crescimento recuou de 20,40% no primeiro trimestre, para 9,96% ao final do primeiro semestre.

O melhor desempenho foi registrado para a posição 6801.00.00, que abriga sobretudo quartzitos foliados do tipo São Tomé, tendo-se mesmo assim assinalado recuo de 81,20% para 36,63% nas taxas de crescimento do primeiro trimestre e do primeiro semestre de 2001. As taxas de crescimento das exportações de blocos de granito, pelas posições 2516.12.00 e 6802.93.90, foram baixas e até negativas já no primeiro trimestre de 2001, permanecendo a tendência de queda ao final do primeiro semestre.

Considerando-se as atuais contingências políticas e sócio-econômicas dos EUA, para o qual foram remetidos 70% em valor das exportações brasileiras de rochas processadas no ano 2000, pode-se projetar sazonalidade negativa até o final de 2001. Este quadro é agravado pelo envolvimento direto ou indireto dos países compradores do Oriente Médio no conflito norte-americano, pois tais países representariam novos destinos possíveis para as exportações brasileiras, além dos mercados tradicionais da Europa, Américas e Ásia.

Outro desdobramento negativo do conflito norte-americano, para o setor de rochas, refere-se ao acirramento da concorrência através dos preços, que têm constituído uma prática negativa, mas bem sucedida, da Índia e sobretudo da China no mercado internacional.

Revelam-se assim verdadeiras as conclusões do documento "Rochas Ornamentais no Século XXI", elaborado pela ABIROCHAS como termo de referência setorial, tanto em relação à vulnerabilidade das exportações brasileiras de rochas processadas, muito concentradas no mercado norte-americano, quanto à necessidade de assumir maior competitividade frente a Índia e China, nossos principais concorrentes, no mercado internacional.

Reitera-se a demanda por uma ação articulada entre a iniciativa privada e o poder público, para a superação das atuais dificuldades do setor brasileiro de rochas. Reafirma-se neste contexto a importância dos programas institucionais de fomento, para os mercados interno e externo.

| Rochas Ornamentais – Exportações Brasileiras no Primeiro Semestre de 2000 e de 2001, segundo MDIC/SECEX/DECEX/SEMIN | | | | | |
|---|--------------------|------------|--------------------|------------|----------------|
| Itens | Janeiro/Junho 2000 | | Janeiro/Junho 2001 | | Variação % B/A |
| | (A) US\$ | % total | (B) US\$ | % total | |
| NCM 2515.11.00 <i>Mármore e travertino, brutos ou desbastados</i> | 19.650 | 0,02 | 12.029 | 0,01 | -38,78 |
| NCM 2515.12.10 <i>Mármore em blocos ou placas</i> | 119.428 | 0,10 | 157.723 | 0,12 | 32,07 |
| NCM 2515.12.20 <i>Travertino em blocos ou placas</i> | 0 | - | 10.085 | 0,01 | - |
| NCM 2516.11.00 <i>Granito em bruto ou desbastado</i> | 7.518.466 | 6,06 | 5.305.621 | 4,12 | -29,43 |
| NCM 2516.12.00 <i>Granito em blocos ou placas</i> | 13.482.221 | 10,86 | 12.580.457 | 9,77 | -6,69 |
| NCM 6801.00.00 <i>Pedra para calcetar meio-fio e placas para pavimentação</i> | 4.627.728 | 3,73 | 6.322.931 | 4,91 | 36,63 |
| NCM 6802.21.00 <i>Mármore e travertino, talhados</i> | 82.075 | 0,07 | 188.779 | 0,15 | 130,01 |
| NCM 6802.23.00 <i>Granito talhado ou serrado</i> | 52.700.381 | 42,45 | 57.949.262 | 45,00 | 9,96 |
| NCM 6802.91.00 <i>Mármore e travertino, trabalhados de outro modo</i> | 409.916 | 0,33 | 424.432 | 0,33 | 3,54 |
| NCM 6802.93.10 <i>Esferas para moinho, de granito</i> | 0 | - | 0 | - | - |
| NCM 6802.93.90 <i>Outros granitos trabalhados de outro modo</i> | 33.966.914 | 27,36 | 32.366.906 | 25,14 | -4,71 |
| NCM 6803.00.00 <i>Ardósia natural trabalhada e obras de ardósia</i> | 11.223.379 | 9,04 | 13.445.060 | 10,44 | 19,80 |
| TOTAL DO SEGMENTO | 124.150.158 | 100 | 128.763.285 | 100 | 3,72 |

Obs: O valor das exportações pelas 11 posições de NCM, grafadas pelo MDIC/SECEX, perfaz cerca de 96% das exportações totais pelas 26 posições que abrigam as rochas e seus produtos comerciais de ornamentação e revestimento.

CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS DE GRANITOS ORNAMENTAIS: A INFLUÊNCIA DA MINERALOGIA, TEXTURA E ESTRUTURA DA ROCHA. DADOS COMPARATIVOS E IMPLICAÇÕES DE UTILIZAÇÃO

Antonio Carlos Artur¹, Ana Paula Meyer² e Eberhard Wernick¹

¹ Depto. de Petrologia e Metalogia, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Paulista - UNESP, Caixa Postal 178, 13506-900, Rio Claro, SP

Fone: (19)526-2824 - Fax: (19)524-9644 - E_mail: acartur@rc.unesp.br

² Curso de Pós-Graduação em Geociências, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Paulista - UNESP, Caixa Postal 178, 13506-900, Rio Claro, SP

Fone: (19)526-2824 - Fax: (19)524-9644

RESUMO

São confrontados dados mineralógicos, texturais e estruturais quantitativos com ensaios físico-mecânicos (incluindo a velocidade de propagação de ondas ultra-sônicas) de quatro tipos de granitos ornamentais do batólito Socorro (SP/MG). Foi constatada uma boa correlação entre os dois conjuntos de dados. Os resultados indicam: a importância da análise petrográfica quantitativa; o grande poder de informação da velocidade de propagação de ondas ultra-sônicas na caracterização tecnológica de rochas; e a eficiência da combinação destes dois aspectos (análises não destrutivas de baixos custos) na estimativa preliminar das características físico-mecânicas de rochas, o que recomenda a aplicação desta metodologia a rochas ornamentais antes de submetê-las a ensaios destrutivos de alto custo.

INTRODUÇÃO

Há longa data a prática do tempo de cantaria desenvolveu a correlação qualitativa de feições macroscópicas das rochas trabalhadas com algumas de suas características tecnológicas/estéticas. A determinação das “veias” (ou “corrida”) da rocha para seu desmonte; a constatação de que granitos amarelados (uma cor de intemperismo) eram mais frágeis e porosos; que rochas levemente alteradas tinham um polimento mais rápido que suas equivalentes totalmente frescas; que cristais de pirita e magnetita em ardósias levam ao desenvolvimento de manchas ferruginosas nestas rochas após alguns anos de utilização como revestimento externo, são apenas alguns exemplos desta experiência acumulada. Estas correlações foram aprofundadas com estudos petrográficos, via microscópio, que permitem uma melhor caracterização mineralógica das rochas, do seu grau de alteração, dos tipos de contatos interminerais, da intensidade do microfissuramento mineral, da disposição espacial dos minerais, etc. O aprofundamento destas observações permitiu uma crescente avaliação qualitativa preliminar mais segura das principais características físico-mecânicas da rocha estudada e sua susceptibilidade em relação aos agentes químicos cada vez mais agressivos a que são submetidas cotidianamente (ar poluído, chuvas ácidas, produtos de limpeza domésticos).

A análise petrográfica está incorporada nas normas da ABNT de caracterização tecnológica de

rochas de revestimento. O maior empecilho para o aproveitamento prático desta análise são os poucos dados quantitativos dela emergentes, pois as análises petrográficas correntes, via de regra, se resumem a informações qualitativas, de aplicação restrita.

No presente trabalho os autores apresentam um estudo comparativo entre as principais características mineralógicas-texturais-estruturais quantitativas de diferentes “granitos” ornamentais do batólito Socorro (SP/MG) e seus ensaios tecnológicos. O estudo visa chamar a atenção da importância de determinados parâmetros petrográficos, de obtenção simples, na avaliação preliminar das características físico-mecânicas de rochas ornamentais e ressaltar, paralelamente, as importantes informações oferecidas pela velocidade de propagação de ondas ultra-sônicas.

O BATÓLITO SOCORRO

O batólito Socorro (Figura 1) situa-se na porção nordeste do Estado de São Paulo e áreas contíguas do Estado de Minas Gerais. Com uma área de exposição de cerca de 2.200 km² e forma alongada, ligeiramente retangular, com orientação geral NE-SW, corresponde a uma expressiva manifestação do magmatismo granitóide brasileiro. Os contatos do batólito com suas encaixantes são predominantemente tectônicos, através de expressivas falhas de empurrão de orientação NE-SW e vergência para NW e de transcorrência dextrais NE-SW e suas conjugadas N-S. Os mesmos tipos de falhas também cortam o batólito definindo no seu interior espessas zonas tectonizadas, onde granitos megaporfíricos são transformados em gnaiesses ocelares. As rochas encaixantes estão representadas pelos grupos Amparo (“grey gneisses” do Arqueano, migmatizados no Proterozóico Inferior e Superior), Itapira (metassedimentos e metavulcânicas do Proterozóico Inferior que sofreram metamorfismo de médio grau e migmatização parcial no Proterozóico Superior) e Pinhal (ortognaisses graníticos migmatizados no Neoproterozóico).

O batólito Socorro compreende quatro associações magmáticas plutônicas distintas representadas pelas suítes Socorro I, Socorro II, Piracaia e Nazaré Paulista (Artur et al., 1993). A associação Socorro I representa um plutonismo cálcio-alcálico de médio a alto potássio, constituída essencialmente por sienos e monzogranitos megaporfíricos. A associação Socorro II inclui rochas cálcio-alcálicas a álcali-cálcicas de alto potássio, cujas rochas são predominantemente equigranulares e

de composição essencialmente sieno- a monzograníticas. A associação Piracaia (Wernick et al., 1997; Wernick & Menezes, 2001) é de natureza transalcalina potássica, representada predominantemente por quartzo monzonitos a quartzo monzodioritos equigranulares, inequigranulares a porfíricos. A associação Nazaré Paulista representa um magmatismo crustal peraluminoso, compreendendo essencialmente rochas inequigranulares sienograníticas a granodioríticas (Wernick et al., 1987).

Os quatro tipos de granitos são ou foram lavrados como granitos ornamentais. O tipo Socorro I é explorado sob a forma de biotita gnaisses ocelares de zonas de cisalhamento, onde ocorreu, pela deformação, a geração de quartzo azul de nome comercial Azul Fantástico. Biotita granitos porfíricos vermelhos do tipo Socorro II são comercializados como Vermelho Bragança. Biotita-hornblenda monzonitos finos a médios do magmatismo Piracaia são conhecidos comercialmente como Preto Piracaia e granada granitos cinza claros a esbranquiçados, heterogêneos, do magmatismo Nazaré Paulista foram comercializados como Branco Nazaré (Figura 1).

ASPECTOS PETROGRÁFICOS E ENSAIOS TECNOLÓGICOS

Foram executadas análises mineralógicas, texturais e estruturais (Tabela 1) dos quatro tipos de granitos ornamentais acima definidos. As amostras estudadas incluíram rochas equigranulares de granulação média e fina (Preto Piracaia), porfírica de matriz média (Vermelho Bragança), megaporfírica ocelares de matriz média/grossa (Azul Fantástico) e rochas inequigranulares, média a pegmatóides (Branco Nazaré). Quanto à estrutura englobaram rochas fracas a medianamente deformadas, de foliação cerrada, com espaçamento milimétrico, mas pouco penetrativa e aparente (Preto Piracaia); rochas pouco deformadas, homogêneas (Vermelho Bragança); fortemente deformadas com foliação penetrativa de espaçamento centimétrico (Azul Fantástico) e rochas com estrutura interna heterogênea devido a coexistência de manchas difusas com granulação muito variável, típico dos granitos anatóticos crustais (Branco Nazaré). Quanto à mineralogia, incluíram rochas com elevados (Preto Piracaia), medianos (Azul Fantástico) e baixos (Vermelho Bragança e Branco Nazaré) teores de minerais máficos (ferromagnesianos). Também o teor de quartzo é muito variável, sendo particularmente baixo no tipo Preto Piracaia. Quanto aos minerais máficos a paragênese biotita-anfíbólio é típica do Preto Piracaia; biotita ocorre no Vermelho Bragança e no Azul Fantástico, enquanto biotita e granada caracterizam o Branco Nazaré.

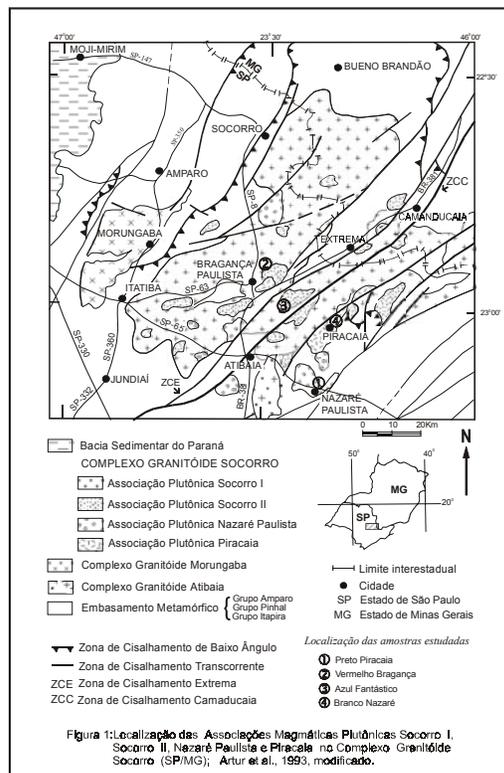


Figura 1: Localização das Associações Magmáticas Plutônicas Socorro I, Socorro II, Nazaré Paulista e Piracaia no Complexo Granítico Socorro (SP/MG), Artur et al., 1993, modificado.

Tabela1: Síntese dos dados petrográficos das amostras ensaiadas constituintes do Complexo Socorro (SP/MG).

| Mineralogia % | Nome Comercial | Preto Piracaia (médio/fino) | | Preto Piracaia (fino) | | Vermelho Bragança | | Azul Fantástico | | Branco Nazaré | |
|--|-------------------|-----------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------|-----------------------|--|------------|-----------------------------|------------|
| | Amostra | PMA | PMB | PFA | PFB | VB1 | VB2 | AF1 | AF2 | NP1 | NP2 |
| Quartzo (total / megacristais) | | 1,7 | 2,0 | 1,3 | 0,8 | 24,5 / 3,0 | 26,5 / 3,2 | 22,3 | 22,2 | 29,4 | 31,0 |
| Plagioclásio | | 34,6 | 33,1 | 35,3 | 34,3 | 28,9 | 29 | 28,9 | 29,9 | 28,8 | 25,4 |
| Microclínio (total / megacristais) | | 30,4 | 28,6 | 23,9 | 24,9 | 41,4 / 10 | 39 / 9,4 | 29 / 24,0 | 31,1/ 19,1 | 34,2 | 37,9 |
| Biotita | | 23,1 | 23,6 | 25,3 | 26,4 | 4,9 | 5,3 | 17,9 | 15,3 | 2,0 | 1,7 |
| Horblenda | | 4,1 | 5,2 | 6,9 | 7,1 | -- | -- | -- | -- | - | -- |
| Granada | | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | 3,6 | 3,0 |
| Titanita | | 3,0 | 2,8 | 3,1 | 2,5 | -- | -- | 0,4 | 0,2 | -- | -- |
| Zircão | | Tr | Tr | Tr | Tr | Tr | Tr | Tr | Tr | -- | -- |
| Apatita | | 0,8 | 1,0 | 0,9 | 0,8 | Tr | Tr | 0,3 | 0,2 | - | -- |
| Opacos | | 0,9 | 1,6 | 2,0 | 1,6 | 0,3 | 0,2 | 0,5 | 0,6 | Tr | Tr |
| Epidoto | | 1,4 | 2,1 | 1,3 | 1,6 | Tr | Tr | 0,7 | 0,5 | -- | -- |
| Muscovita | | -- | -- | Tr | -- | -- | -- | -- | - | 0,6 | 0,4 |
| Sericita/clorita/carbonato | | Tr/Tr/Tr | Tr/Tr/Tr | Tr/Tr/0,3 | Tr/Tr/Tr | Tr/-/- | Tr/-/- | Tr/-/Tr | Tr/-/Tr | Tr/-/Tr | Tr/-/Tr |
| Índice de coloração 100 - (quartzo+total feldspatos) | | 33,3 | 38,3 | 39,5 | 40 | 5,2 | 5,5 | 19,8 | 16,8 | 7,6 | 5,7 |
| Índice de quartzo 100x(qtzo/qtzo+total feldspatos) | | 2,1 | 3,1 | 2,1 | 1,3 | 25,8 | 28 | 27,8 | 26 | 31,8 | 32,9 |
| Granulação (mm) | Varição | 0,3 a 4,0 | 0,3 a 4,0 | 0,2 a 2 | 0,2 a 2 | --- | --- | --- | --- | 0,5 a 10 | 0,5 a 10 |
| | Predominância | 0,5 a 0,7 | 0,5 a 0,7 | 0,3 a 0,5 | 0,3 a 0,5 | --- | --- | --- | --- | 2,5 | 2,5 |
| | Matriz | -- | -- | -- | -- | 0,5 a 3 | 0,5 a 3 | 2 a 8 | 2 a 8 | --- | --- |
| | Fenocristal | -- | -- | -- | -- | 10 a 30 | 10 a 30 | 20 a 50 | 20 a 50 | --- | --- |
| Classificação (QAP) | | Monzonito médio/fino | | Monzonito fino | | Monzogranito porfirítico | | Biotita Monzogranito Megapofirítico | | Monzogranito Inequigranular | |
| Estrutura | | Moderadamente foliado | | Discretamente foliado | | Isótropa | | Gnaissificada | | Isotrópa | |
| Textura | | Inequigranular | | Equigranular | | Porfirítico serial | | Megaporfirítico serial | | Inequigranular | |
| Índice de microfissuramento (100 x n° de microfissuras / mm²) | | 40 | 40 | 21 | 24 | 100 | 70 | 64 | 40 | 60 | 60 |
| Contato% | Côncavo / convexo | 83,7 | 82,5 | 86,3 | 88,3 | 57,7 | 33,0 | 57,8 | 64,0 | 82,0 | 84,0 |
| | Serrilhado | - | - | - | - | 35,45 | 48,0 | 19,1 | 7,0 | - | - |
| | Plano | 16,3 | 17,5 | 13,7 | 11,7 | 9,0 | 11,5 | 23,1 | 29,0 | 18,0 | 16,0 |
| Grau de Alteração | Microclínio | Incipiente | Incipiente | Incipiente | Incipiente | Incipiente | Incipiente | Incipiente | Incipiente | Incipiente | Incipiente |
| | Plagioclásio | Incipiente a moderado | Incipiente a moderado | Incipiente a moderado | Incipiente a moderado | Incipiente a moderado | Incipiente a moderado | Incipiente | Incipiente | Incipiente a moderado | Incipiente |
| | Biotita | Incipiente | Incipiente | Incipiente | Incipiente | Incipiente | Incipiente | Ausente | Ausente | Ausente | Ausente |
| | Horblenda | Incipiente | Incipiente | Incipiente | Incipiente | --- | --- | --- | --- | --- | --- |

Além da composição mineralógica modal, foram calculados os índices de coloração [100 – (quartzo + feldspatos)], o índice de quartzo (100 x quartzo/quartzo + feldspatos), o grau de microfissuramento mineral (100 x número de microfissuras/mm²), o grau de alteração dos minerais da rocha (Tabela 1), além da proporção modal entre os minerais claros (diagrama QAP; Figura 2A) e o diagrama textural de contatos interminerais (Figura 2B).

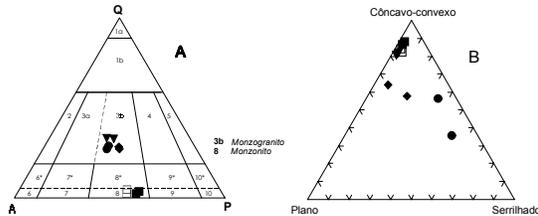


Figura 2: Classificação modal das amostras estudadas (A) e sua caracterização textural quantitativa quanto aos contatos interminerais (B). Símbolos e siglas: □ Preto Piracaia médio / fino (PM), ■ Preto Piracaia fino (PF), ● Vermelho Bragança (VB), ◆ Azul Fantástico (AF), ▼ Branco Nazaré.

Após a análise petrográfica as amostras foram submetidas aos seguintes ensaios físico-mecânicos: massa específica aparente seca e saturada, porosidade aparente, absorção d'água, desgaste abrasivo Amsler; resistência à compressão uniaxial simples, módulo de ruptura (flexão 3 pontos), resistência à flexão na tração (flexão 4 pontos), resistência ao impacto e velocidade de propagação de ondas ultra-sônicas. Todos os ensaios foram executados no Laboratório de Rochas Ornamentais do Departamento de Petrologia e Metalogenia do IGCE/UNESP, em Rio Claro, SP, seguindo normatizações estabelecidas pela ABNT e ASTM. Os dados foram complementados com os coeficientes de dilatação térmica linear extraídos da literatura (IPT, 2000) para os tipos Preto Piracaia (variedade média/fina), Vermelho Bragança e Azul Fantástico, enquanto o do Branco Nazaré foi obtido no já mencionado laboratório (Tabela 2).

CORRELAÇÃO ENTRE ASPECTOS PETROGRÁFICOS E DADOS TECNOLÓGICOS

Algumas correlações entre dados petrográficos e valores físico-mecânicos são diretas e evidentes. Enquadram-se nesta categoria o grau de microfissuramento e a porcentagem de porosidade aparente (Figura 3A) e a porcentagem de absorção d'água (Figura 3B). Esta correlação fica mais expressiva levando-se em consideração: (1) que o grau de alteração nas diferentes rochas ensaiadas é aproximadamente igual (Tabela 1); (2) que a relação entre os diferentes tipos de contatos interminerais varia pouco de rocha para rocha (Figura 2B) e (3) que a relação volumétrica entre os minerais silícicos é aproximadamente constante, com exceção do Preto Piracaia (Figura 2A).

Tabela 2: Resultados dos ensaios tecnológicos executados em amostras constituintes do botólito Socorro (SP/MG).

| Ensaio Tecnológico | | Rocha | Preto Piracaia (médio) | Preto Piracaia (fino) | Vermelho Bragança | Azul Fantástico | Branco Nazaré |
|--|---|-------|------------------------|-----------------------|-------------------|-----------------|---------------|
| Índices físicos | Massa específica seca aparente (kg/m ³) | | 2,82 | 2,85 | 2,61 | 2,69 | 2,61 |
| | Massa específica saturada aparente (kg/m ³) | | 2,83 | 2,88 | 2,63 | 2,71 | 2,62 |
| | Porosidade aparente (%) | | 0,38 | 0,34 | 0,89 | 0,68 | 0,80 |
| | Absorção d'água aparente (%) | | 0,13 | 0,12 | 0,34 | 0,25 | 0,31 |
| Desgaste abrasivo Amsler (mm) / 1000m | | | 1,0 | 0,83 | 0,73 | 0,51 | 0,67 |
| Compressão uniaxial simples (MPa) | | | 205 | 220 | 218 | 151 | 172 |
| Módulo de ruptura (flexão 3 pontos) (MPa) | | | 15,1 | 28,6 | 17,5 | 10,2 | 12,7 |
| Resistência à flexão na tração (flexão 4 pontos) (MPa) | | | 16,5 | 24,4 | 11,0 | 8,2 | 13,6 |
| Impacto de corpo duro (cm) | | | 67 | 66 | 53 | 40 | 56 |
| Dilatação térmica linear x 10 ⁻³ mm / m °C | | | --- | 6,3* | 6,4* | 5,9* | 5,2 |
| Velocidade do pulso ultra-sônico (m/s) | | | 5183 | 5318 | 5108 | 4490 | 5083 |

* IPT (2000)

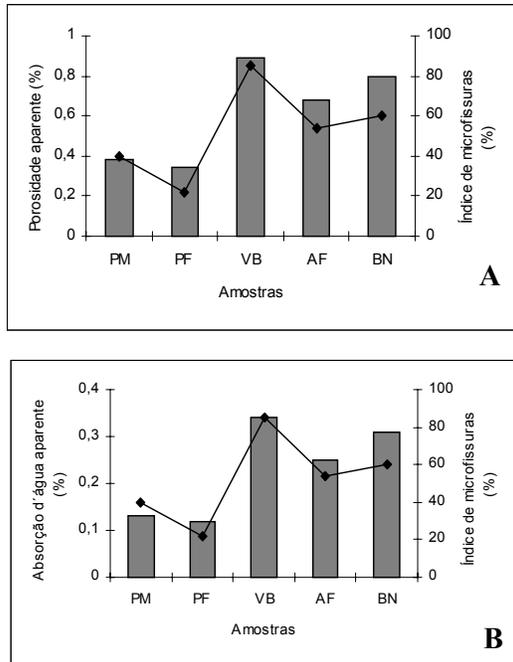


Figura 3: Índice de microfissuramento (linha) e porosidade aparente (A) e absorção d'água aparente (B) (barras) para diferentes rochas do batólito Socorro. (PM - Preto Piracaia Médio; PF - Preto Piracaia Fino; VM - Vermelho Bragança; AF - Azul Fantástico; BN - Branco Nazaré)

Uma medida indireta conjunta que integra o microfissuramento e a intensidade de entrelaçamento mineralógico da rocha é fornecido pela velocidade de propagação de ondas ultra-sônicas. Em rochas texturalmente compactas, as ondas ultra-sônicas propagam-se mais rapidamente do que em rochas texturalmente debilitadas. A correlação direta entre esta velocidade de propagação e as resistências à compressão uniaxial, ao módulo de ruptura (flexão 3 pontos) e resistência à flexão na tração (flexão 4 pontos) estão visualizados na Figura 4. Esta correlação aumenta de importância tendo em vista que não foram considerados como coeficiente de ajustes, dados sobre a relação angular entre a superfície das placas pétreas e à foliação da rocha.

Quanto à resistência ao desgaste abrasivo (ensaio tipo Amsler) existe uma correlação direta entre este parâmetro e o teor de quartzo (ou índice de quartzo) das amostras ensaiadas (Figura 5). Quanto à massa específica aparente seca, a mesma mostrou estreita correlação com o índice de coloração das rochas (Figura 6).

DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

A comparação entre os resultados mineralógicos, texturais e estruturais quantificados com as características físico-mecânicas de diferentes granitos ornamentais do batólito Socorro (SP/MG) permitem as seguintes considerações e conclusões:

- Uma correlação direta entre o grau de microfissuramento das rochas e sua porosidade aparente e sua capacidade de absorção de água (Figura 3). O grau de microfissuramento é mais intenso nas rochas isotrópicas (Vermelho Bragança e Branco Nazaré) que em rochas foliadas (Preto Piracaia e Azul Fantástico). Enquanto que rochas não deformadas, principalmente de granulação fina a média, equigranulares ou inequigranulares, mantêm o microfissuramento resultante da contração durante o resfriamento magmático sob determinado regime de esforço, sendo que nas rochas foliadas a recristalização mineral elimina parte das microfissuras geradas durante a deformação. Também existe uma correlação qualitativa entre o grau de microfissuramento e o coeficiente de dilatação térmica. Enquanto em rochas com baixo grau de microfissuramento a dilatação se reflete diretamente num aumento do volume, em rochas com elevados graus de microfissuramento parte da dilatação é absorvida pelo fechamento das microfissuras;
- Uma correlação direta entre a velocidade de propagação de ondas ultra-sônicas nas rochas ensaiadas e sua resistência à compressão uniaxial, módulo de ruptura, flexão na tração e coeficiente de dilatação linear (Figura 4). Estes valores apresentam também correlação com uma combinação do grau de microfissuramento (Tabela 1), e dos contatos interminerais (Figura 2B), ambos quantificados. Sobre aspecto qualitativo também mostram correlação com a granulação (Preto Piracaia), tamanho relativo dos grãos (Vermelho Bragança e Azul Fantástico) e variação lateral na granulação (Branco Nazaré), além do grau de deformação, que neste estudo foi apenas estimado (Tabela 1) mas não quantificado através de uma análise da deformação (orientação da clivagem em palhetas de micas e do eixo "C" em grãos de quartzo).
- Uma correlação direta entre o teor de quartzo da rocha, ou seu índice de quartzo, com a resistência ao desgaste abrasivo tipo Amsler (Figura 5);
- Uma correlação direta entre o índice de coloração das rochas e sua massa específica aparente seca (Figura 6).

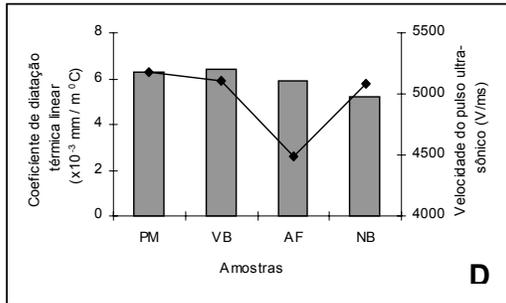
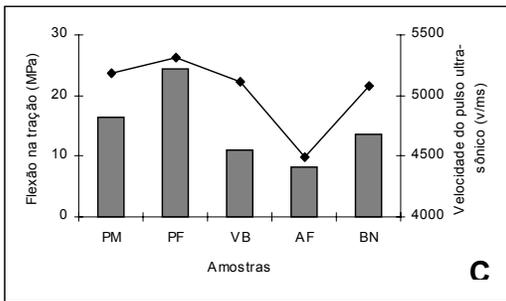
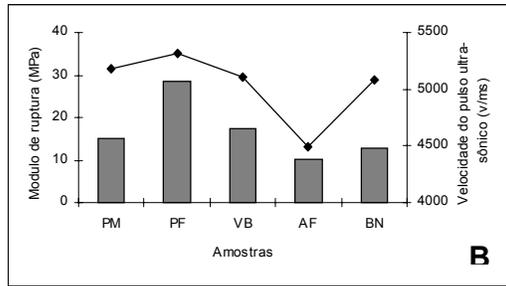
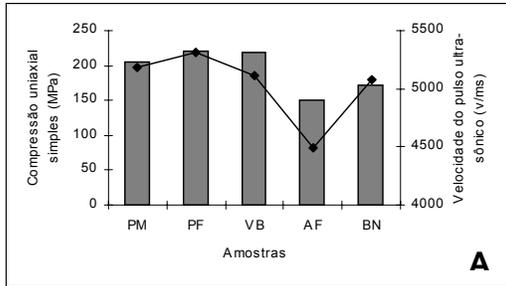


Figura 4: Velocidade do pulso ultra-sônico (linha) com compressão uniaxial (A), módulo de ruptura (B), flexão na tração (C) e coeficiente de dilatação térmica linear (D) (barras) para diferentes rochas do batólito Socorro. (siglas de acordo com figura 3).

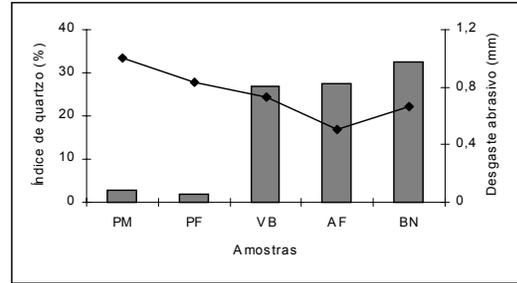


Figura 5: Valores de desgaste abrasivo (linha) e Índice de quartzo (barras) em diferentes rochas do batólito Socorro; (siglas de acordo com figura 3).

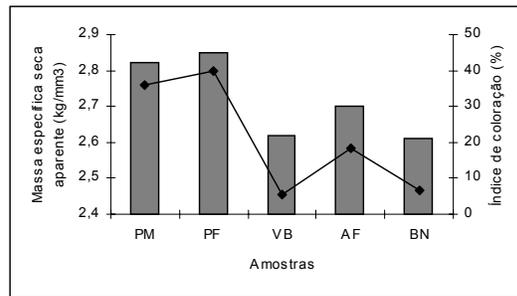


Figura 6: Índice de coloração (linha) e massa específica seca aparente (barras) em diferentes rochas do batólito Socorro; (siglas de acordo com figura 3).

Os dados petrográficos e os ensaios tecnológicos aliados com aspectos estéticos permitem definir claramente a utilização das rochas estudadas:

- O Preto Piracaia, apesar de sua menor resistência ao desgaste abrasivo, apresenta estrutura muito compacta, alta resistência à compressão e ao impacto e baixo coeficiente de dilatação. Este conjunto faz desta rocha uma requisitada base para instrumentos científicos e robótica. Além disso, a sua coloração escura o recomenda como revestimento verticais e em objetos de arte, mas seu emprego como revestimento horizontal em áreas de grande tráfego deve ser evitado;
- O Vermelho Bragança apresenta um conjunto de características físico-mecânicas de alta qualidade que, aliado a sua cor vermelha e textura porfirítica, recomenda sua utilização tanto em revestimentos verticais quanto horizontais, tampos, objetos de decoração, etc. Entretanto, seu elevado grau de microfissuramento que se reflete numa elevada capacidade de absorção de água, recomendam cuidados no seu emprego em locais de elevada umidade e exposição a agentes químicos agressivos;
- O Azul Fantástico tem capacidade de absorção de água menor que o Vermelho Bragança e o Branco Nazaré, um aspecto positivo desta rocha que também resiste muito bem ao desgaste

abrasivo. Sua maior limitação é a relativamente baixa resistência ao impacto refletindo uma textura pouco compacta, um aspecto claramente evidenciado pela velocidade de propagação de ondas ultra-sônicas. Este aspecto recomenda a sua utilização principalmente em revestimentos horizontais e verticais de edificações residenciais que serão valorizadas pelo aspecto estético (coloração azulada) da rocha;

- Para o Branco Nazaré são válidas, basicamente, as principais considerações feitas para o Vermelho Bragança. Entretanto, o maior problema deste granito reside na obtenção de placas homogêneas já que sua origem, por fusão incipiente de sedimentos aluminosos, implicam em texturas heterogêneas, de finas a grossas e até pegmatíticas, com rápidas flutuações laterais, na concentração local preferencial de quartzo e feldspato e na ocorrência de "peixes" de biotita (enclaves surmicáceos), resíduos da fusão. Além disso, a presença de granadas, que atingem frequentemente dimensões centimétricas e se concentram em faixas irregulares, sugere problemas com a escarificação deste material em áreas de grande tráfego e o surgimento de manchas de óxidos e hidróxidos de ferro pela decomposição da granada em ambientes úmidos e na presença de agentes químicos agressivos.

O presente trabalho mostra que a análise mineralógica-textural-estrutural quantitativa de granitos ornamentais, aliados a um ensaio tecnológico não destrutivo (velocidade de propagação de ondas ultra-sônicas) permitem com boa precisão avaliar tanto a porosidade da rocha, sua capacidade de absorção d'água, sua massa específica e seu coeficiente de dilatação térmica linear e suas características obtidas através de ensaios destrutivos (impacto, compressão, flexões, desgaste). Como estes dois ensaios são também os menos onerosos na avaliação tecnológica de granitos ornamentais, constituem um exame preliminar de baixo custo que decidirá a conveniência da submissão da rocha a ensaios destrutivos complementares. Infelizmente, até agora, a Norma ABNT - NBR 12768 (análise petrográfica) não explicita claramente os dados quantitativos mineralógicos-texturais-estruturais que deveriam constar desta análise. Recomenda-se, portanto, uma profunda revisão desta norma.

AGRADECIMENTO

A autora A.P. Meyer agradece à FAPESP através dos Processos 99/10453-3 e 01/02681-8, e os autores A.C. Artur e E. Wernick à FAPESP através do Processo 97/10698-0) e ao CNPq através dos Processos 300319/81-9 e 500459/90-8, que direta ou indiretamente deram suporte à presente pesquisa.

BIBLIOGRAFIA

ARTUR, A.C.; WERNICK, E.; HÖRMANN, P.K; WEBER-DIEFENBACH, K. 1993. Associações plutônicas do Complexo Granitóide Socorro (Estados de São Paulo e Minas Gerais, SE Brasil). *Rev. Bras. Geoc.*, 23(3):265-273.

IPT – INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO 2000. Catálogo das rochas ornamentais e de Revestimento do Estado de São Paulo. Coordenado por M.H.B. de O. FRASCÁ – São Paulo: IPT/SCTDE. CD-ROM (Publicação IPT 2651).

WERNICK, E. & MENEZES, A. do C. 2001. The Late Precambrian K-alkaline magmatism in the Ribeira Fold Belt: a case study of the Piracaia pluton, State of São Paulo, SE Brazil, and its potential mineralization (Cu, Zn, Gd). *J. of Asian Earth Sciences*, 19:347-373.

WERNICK, E.; WEBER-DIEFENBACH, K; CORREIA, P.R. 1987. O granitóide Nazaré Paulista: dados petrográficos, químicos e de tipologia de zircão. In: SIMP. REG. GEOL., 6 Rio Claro, 1987. *Atas...* São Paulo, SBG-NSP., v.1, p. 123-134.

WERNICK, E. ARTUR, A.C.; HÖRMANN, P.K; WEBER-DIEFENBACH, K. 1997. O magmatismo alcalino potássico Piracaia, SP (SE Brasil): aspectos composicionais e evolutivos *Rev. Bras. Geoc.*, 27(1):53-66.

PRINCIPAIS PATOLOGIAS ASSOCIADAS AO USO DE ROCHAS ORNAMENTAIS

Helmo Bagdá Gama

Geólogo do SENAI - Depto. Regional da Bahia
Av. Bonfim, 99 - Bairro Dendeseiros - 40.415-000 - Salvador - BA

RESUMO

A evolução tecnológica do último século propiciou a produção e utilização em larga escala das rochas ornamentais e de revestimento. Esta expansão tem demandado conhecimentos técnicos sobre o desempenho destes materiais frente às condições a que os mesmos estarão submetidos quando aplicados. A sistematização do estudo das rochas através de análise petrográfica e testes tecnológicos padronizados, constitui-se num fator de grande importância para retardar ou reduzir o aparecimento de patologias associadas à degradação das rochas ou dos materiais utilizados na fixação das placas em revestimentos ou pavimentações.

As patologias podem se manifestar nas placas de rocha através de descoloração, cristalização de sais na superfície, no interior dos poros ou no fundo das placas, nas juntas e fraturas, por perda da integridade física e descolamento das mesmas, resultando na redução da qualidade estética e evoluindo para danos maiores à obra até o comprometimento da sua segurança.

As causas das patologias podem ter origem nos aspectos da composição mineralógica da rocha, que pode apresentar maior ou menor suscetibilidade a alteração química, ou nos seus aspectos físico-mecânicos, que em conjunto determinam sua resposta às condicionantes do ambiente onde situa-se a obra assim como às solicitações determinadas pela finalidades e estrutura desta. A não observação de técnicas apropriadas e a utilização de materiais inadequados à fixação das placas podem também resultar no desenvolvimento de patologias. Fatores de origem natural ou introduzidos pelo homem (má qualidade da produção, transporte e armazenagem das placas, poluição) podem acelerar a degradação dos produtos de rochas ornamentais.

INTRODUÇÃO

As rochas ornamentais vêm apresentando um significativo crescimento nas últimas décadas como material de revestimento de fachadas e interiores de construções e em pavimentação externa e interna.

Além das razões tradicionais que levaram o homem desde os primórdios da história a utilizar as rochas, como a durabilidade normalmente muito superior ao ciclo de vida das construções e a beleza natural das que têm servido às diversas finalidades decorativas, arquitetônicas ou puramente construtivas, o avanço tecnológico do último século influenciou decisivamente na produção e utilização dos mármore e principalmente dos granitos, tanto em escala como na diversidade das formas de uso hoje possíveis, propiciando aos arquitetos e

decoradores materiais de beleza única, em peças com dimensões, formatos e tipos de acabamentos variados, que ao lado de técnicas e dispositivos de assentamento seguros vêm promovendo a materialização, em grandes construções, de obras de arte de rara beleza estética e geométrica no cenário urbano e que garantem também conforto higrotérmico e conservação de energia.

Produzidas a partir de materiais naturais, as placas de rochas utilizadas em revestimentos e pavimentações estão sujeitas a alterações dos padrões originais, de modo que se não forem levados em conta desde a elaboração do projeto e monitoradas adequadamente, podem acelerarem-se em razão de diversos fatores patológicos, apresentando inicialmente uma redução do nível de qualidade estética, evoluindo para deteriorações que comprometem o desempenho técnico-funcional e a estabilidade e segurança do sistema.

Neste trabalho serão apresentadas os principais tipos de manifestações patológicas associadas ao uso de rochas ornamentais e discutidos em maior profundidade, ao longo do texto, aqueles causados pela presença de sais solúveis (eflorescências e subeflorescências), escolhidos em função de suas causas variadas, dos danos quase sempre irreversíveis e do relativo desconhecimento do problema e suas causas por parte dos aplicadores. Estes problemas criam impacto negativo sobre a imagem das rochas frente aos arquitetos e decoradores, influenciando na preferência desses especificadores por outros tipos de materiais em detrimento dos mármore e granitos.

TIPOS DE PATOLOGIAS, CAUSAS E CARACTERIZAÇÃO

O conhecimento dos tipos de manifestações patológicas que afetam as rochas ornamentais, das conseqüências que terão sobre o seu desempenho na obra, assim como dos fatores responsáveis, são de fundamental importância na individualização de soluções adequadas para se lidar com a problemática da utilização desses materiais, tanto preventivamente como corretivamente. A difusão desses conhecimentos entre os profissionais que prescrevem, projetam, aplicam e dão manutenção as rochas ornamentais é decisiva principalmente em países como o Brasil, onde a grande maioria dos arquitetos deixa de usar os mármore e granitos devido à falta de informações técnicas disponíveis ou pelas impressões negativas deixadas por aplicações inadequadas.

Por representar a ponta da cadeia produtiva do setor de rochas, estando assim diretamente em contato direto com o mercado e assumindo em muitos

casos o assentamento através de equipes terceirizadas, o seguimento de marmorarias, do ponto de vista legal e financeiro, é o mais prejudicado pelos problemas que ocorrem nas pavimentações e revestimentos. Como os problemas, de uma forma ou de outra, sempre afetam visivelmente as placas ou peças de rocha, a “culpa” sempre recai sobre estes materiais, obrigando os marmoristas a arcarem com a substituição.

Na verdade, para enfrentar adequadamente o problema das manifestações patológicas associadas ao uso das rochas ornamentais, é necessário um sistema de gerenciamento integrado de todas as variáveis intervenientes, que se estendem desde o conhecimento da jazida e das propriedades das rochas, seus processos de produção, das técnicas e materiais utilizados no assentamento, até as solicitações provocadas pelo meio ambiente e agentes poluentes, pelas características e finalidade da obra e suas necessidades de manutenção. Como muitas vezes esses fatores são negligenciados, quando deveriam ser traduzidos em parâmetros de projeto e de processo a fim de equacionar o problema adequadamente, a escolha das rochas e o cronograma e execução da obra não dão a devida atenção às necessidades de materiais, técnicas e mão de obra qualificada, resultando mais cedo ou mais tarde em problemas que irão desvalorizar as rochas e comprometer a obra tanto nos seus aspectos estéticos quanto do ponto de vista funcional e de segurança.

As patologias manifestam-se nas placas de rochas através de:

- a) manchamentos e/ou mudanças da tonalidade original, crostas e depósitos
- b) eflorescência e subeflorescência
- c) perda da integridade física por dissolução, escamações ou pulverizações (por subeflorescências) e fraturamento
- d) empenamento, descolamento e destacamento

Os fatores responsáveis pelas manifestações patológicas podem ser classificados em:

- 1) Fatores relacionados aos aspectos petrográficos, químicos, físicos e mecânicos das rochas que definem suas propriedades tecnológicas e são avaliados por meio de:
 - a) análises petrográficas para definir a composição mineral da rocha, indicando a presença de minerais de fácil alteração, de minerais alterados e de microfissuras, de aspectos de textura e estrutura envolvendo a forma, granulometria, contatos e distribuição dos minerais. Esses aspectos determinam o comportamento das rochas e são fundamentais como critérios para especificação e uso adequado, como exemplo podemos citar uma ocorrência

muito comum a alguns granitos verdes, abundantes no Brasil e que vale a pena ressaltar que é a fotossensibilidade, propriedade que desqualifica esses materiais para o uso em ambiente com incidência direta de luz solar por provocar mudança de coloração pelo amarelamento das placas após algum tempo de aplicado, principalmente em fachadas. Muitas modificações que ocorrem a nível mineralógico são na realidade de natureza química e serão abordados no item a seguir.

- b) problemas de natureza química que as rochas podem apresentar e que são em parte devido à existência de minerais alteráveis, como os sulfetos de ferro que se oxidam na presença de água ou oxigênio, produzindo manchas de coloração amarelo avermelhadas ferruginosas ou associadas a rochas de natureza carbonática (mármore, calcários e travertinos) facilmente atacadas pela chuva ácida ou limpeza inadequada com ácido muriático causando dissolução dos minerais constituintes. Testes de laboratório, que reproduzem condições agressivas em câmara de SO_2 são realizados para avaliar o efeito da chuva ácida sobre as rochas, assim como testes de manchamento por diversas substâncias presentes em cozinhas, banheiros ou em produtos de limpeza, contribuindo tecnicamente para a especificação mais adequada dos mármore e granitos.
- c) ensaios físicos das rochas em termos de densidade, porosidade e absorção de água. As propriedades físicas das rochas dependem dos seus aspectos petrográficos e influem nos índices físicos-mecânicos e conseqüentemente no seu desempenho frente às solicitações às quais estarão sujeitas na obra e às condições atmosféricas a que estarão expostas. Materiais com alto índice de absorção apresentam redução de resistência, estando também sujeitos a deterioração por cristalização de sais dissolvidos em água retida nos poros da rocha (com a evaporação da água, estes sais cristalizam e expandem-se comprometendo a resistência mecânica da rocha, chegando a provocar escamações na superfície das placas, ponto crítico do fenômeno da subeflorescência).
- d) testes mecânicos que dão uma medida direta da resposta das placas de rocha frente aos esforços físicos aos quais estarão submetidos: dilatação térmica linear, desgaste, impacto, compressão uniaxial (realizado também após ciclos de congelamento e degelo para utilização em países frios), flexão, além de outros como o módulo de deformidade estático, velocidade de propagação de ondas, vários tipos de dureza etc. Os diversos tipos de testes de resistência mecânica podem também ser realizados após ciclos de saturação com

solução salina, de atmosfera ácida, envelhecimento acelerado (xenoteste) com raios ultravioleta etc., para que tenha uma idéia de como essas variáveis irão influenciar na durabilidade das rochas. Materiais com alto índice de dilatação térmica, por exemplo, podem apresentar problemas de empenamento, fraturamento e descolamento, sendo indispensável que seja levado em conta em função do tipo de aplicação (interna ou externa), para o correto dimensionamento e distribuição das juntas e na escolha dos tipos de materiais de fixação e rejuntamento.

2) Fatores relacionados à instalação e ao tipo de fixação das placas:

a) Fixação com argamassas

Neste sistema, mais tradicional, temos fatores como a diferença de dilatação térmica entre a rocha e a camada de fixação executada com argamassa, que, principalmente em fachadas, resulta na perda de aderência e promove o destacamento da placa, caso não seja observado o correto dimensionamento das juntas de assentamento e a introdução de juntas de expansão a cada quatro ou sete metros, dependendo do grau de insolação; sendo aconselhável também a utilização de argamassas com aditivos que conferem flexibilidade (látex).

Neste tipo de fixação é muito comum o aparecimento da eflorescência, que é uma patologia relacionada ao acúmulo de sais cristalizados na superfície das placas próximo às juntas de assentamento ou nas fraturas (que podem ser causadas ou expandidas pelas próprias eflorescências). As eflorescências podem ser reconhecidas pelos “jorros” de matéria esbranquiçada saindo das juntas, sendo produzidas por dissolução, pela água, de sais contidos na argamassa, no concreto, na alvenaria e no solo, ou introduzidos por produtos de limpeza, maresia, poluição ou sais utilizados para derreter a neve acumulada em países frios. Esta solução, após evaporação da água na superfície dos rejuntos falhos ou quebrados ou das fraturas existentes nas placas, deposita os sais por cristalização à medida em que se tornam saturadas. A eflorescência pode ser um prenúncio de outro tipo de patologia muito mais danosa às rochas e construções denominada subeflorescência e que é resultante da cristalização de sais, a partir das mesmas soluções, no interior dos poros das placas de rocha próximo à superfície das mesmas. A presença de soluções salinas representa portanto, um dos principais problemas enfrentados nas construções, podendo causar manchamentos, fraturamentos, escamações (subeflorescências) e, quando os sais cristalizam, expandindo-se, no espaço entre a placa e a camada de fixação,

podem provocar descolamento. Para lidar de maneira correta preventivamente com estes tipos de patologias são necessários trabalhos para impermeabilização do piso, para bloquear o acesso da água à argamassa de revestimento, para reduzir a penetração da maresia, e evitar o uso de produtos de limpeza que não sejam neutros, diminuindo assim a possibilidade da presença de sais que possam penetrar nos poros da rocha ou nas descontinuidades dos rejuntos. Análises de laboratório podem identificar os tipos de sais presentes nestas patologias, dando uma pista segura da origem dos mesmos e auxiliando nos trabalhos para bloquear ou reduzir a sua presença nas construções.

b) Fixação por ancoragem

Neste sistema de fixação por ancoragem mecânica com dispositivo metálico em fachada ventilada, deve-se levar em conta o efeito de diversas variáveis como o vento, o peso do material e a expansão e retração térmica, a fim de prevenir o fraturamento e destacamento das placas. Patologias podem surgir em função de assentamento prematuro relativamente às retrações do concreto da estrutura ou do substrato, dos movimentos da estrutura, do uso de placas com baixa espessura, rochas cuja resistência seja afetada pelo sazonal congelamento da água contida nos poros, pelo uso de elementos ou ligas metálicas inadequadas na fixação etc. A aderência de fuligem ao silicone de rejunte normalmente causa manchas escuras nas rochas quando espalhadas pela água da chuva na fachada, sendo sua utilização desnecessária, na maioria dos casos. Em países de clima frio a água pode congelar nos poros da rocha e reduzir o desempenho das placas, da mesma forma que em ambientes próximos ao mar, a presença da maresia pode causar subeflorescência com esfarelamento superficial prejudicando o acabamento das placas e afetar o seu desempenho geral.

3) Fatores associados à produção, transporte e manuseio das placas

Durante as fases de extração e beneficiamento das rochas, o uso de técnicas inadequadas podem causar fissuras, como por exemplo, a utilização de explosivos na pedreira, chapas empenadas ou com variações de espessura devido a serragem problemática; placas com manchas de oxidação devido à presença de restos de granalhas de ferro ou aço por lavagem incorreta das chapas após a serragem; redução excessiva da espessura no polimento para sanar problemas de ranhuras profundas produzidas na serragem, quinas serrilhadas e quebradas na fase de corte a disco diamantado das chapas para produção dos ladrilhos; e peças acabadas com problemas dimensionais e de esquadro, que ao demandar adequações forçadas no assentamento

comprometem a estética e o desempenho da aplicação. O transporte e manuseio inadequado das placas e ladrilhos podem causar fraturas e lasqueamento de borda; a falta de cuidado no estoque pode, ainda, expor as rochas ao contato com materiais como madeiras úmidas, barras enferrujadas e lamas, induzindo a absorção de substâncias que provocarão manchas.

CONCLUSÕES

A importância do conhecimento das rochas, suas propriedades e técnicas de produção e das técnicas e materiais de assentamento são indispensáveis na prevenção das patologias.

Quando associadas à existência de mão de obra qualificada ao longo de todas essas fases, teremos percorrido boa parte do percurso na direção da obtenção da qualidade na utilização das rochas ornamentais, em toda a extensão e possibilidades que a tecnologia moderna nos proporciona. Caso contrário, os problemas originados pelas aplicações incorretas das rochas representarão um estímulo ao uso de materiais concorrentes e prejudicando severamente o setor produtivo.

BIBLIOGRAFIA

Flain, Eleana Patta; Frazão. Ely Borges. Considerações sobre algumas patologias em revestimentos com placas pétreas. Rochas de Qualidade, Edição 140, p. 86 – 92.

Giulio, Roberto Di. I revestimenti lapidei: tecniche e degrado. L'informatore del Marmista, 461, p. 16 – 24.

Hueston, Frederick M. Subflorescence and the deterioration of historic masonry. Stone World, February/97, p. 74 – 80.

CARACTERIZAÇÃO DO FRATURAMENTO PRÓXIMO À LAVRA DO GRANITO SANTA ROSA. IRAUCUBA/CE

Irani Clezar Mattos

Geólogo do Programa SENAI de Apoio ao Setor de Rochas Ornamentais - SENAI/CE
Rua Júlio Pinto, 1873 - Bairro Jacarecanga - 60.035-010 - Fortaleza-CE
E_mail: icmattos@sfipec.org.br

RESUMO

O granito Santa Rosa, localizado no município de Irauçuba, Estado do Ceará, possui área aflorante de aproximadamente 18 km² sob forma de maciços e matacões; apresenta alto grau de fraturamento e médio grau de alteração supergênica. O granito Branco Nevasca é a rocha-minério do granito Santa Rosa, que é um corpo granítico intrusivo na porção W de uma seqüência de biotita gnaisses, os quais são predominantes na área. É uma rocha leucocrática, com textura equigranular homogênea, de granulação média a fina.

O objetivo deste trabalho foi realizar um mapeamento de detalhe na área da lavra, utilizando malha de 5 x 5 metros, caracterizando o comportamento estrutural frágil do corpo granítico na área alvo. O resultado do mapeamento permitiu concluir que: Na área da lavra existem três sistemas de fraturamento bem definidos: C_I com direção média N26, C_{II} com direção média N74 e C_{III} com direção média N121. Alguns aspectos deste fraturamento podem ser considerados como negativos: (i) As três direções de fraturamento com persistências semelhantes, o que leva a formação de blocos de forma não paralelepípedica. (ii) A dispersão importante ($\pm 10^0$) das direções das fraturas em cada conjunto. (iii) A variabilidade do mergulho das fraturas. Dentro dos aspectos favoráveis, podemos citar: (i) a ortogonalidade de C_I e C_{III}, (ii) a boa probabilidade da intensidade de C_I e C_{II} diminuir com a profundidade, tomando o potencial da lavra mais efetivo. (iii) A contaminação do óxido de manganês, que penetrou nas fraturas por percolação, provavelmente diminuirá com o aumento da profundidade.

INTRODUÇÃO

O Granito Santa Rosa situa-se na região centro norte do Estado do Ceará, município de Irauçuba, à 5 Km a oeste da vila Boa Vista do Caxitoré (figura 1).

O Granito apresenta forma elipsoidal, com área aflorante de aproximadamente 18 km² de maciços e matacões. É intrusivo em biotita gnaisses de granulação média a grossa. A porção sudoeste do granito se mostra intrudida numa seqüência formada por quartzitos, juntamente com muscovita-biotita xistos, constituindo serras alongadas na direção N-S.

O Granito em estudo, corresponde a um leucogranito monzonítico, de coloração variada entre cinza claro a branco, a granulação varia de média a

fina. Possuem uma sutil e localizada foliação de fluxo magmático evidenciada nas zonas de concentração de biotitas. Foram individualizados corpos graníticos homogêneos e fraturados, de coloração branca com textura equigranular média. Nesta porção o granito é explorado pela Mineração Santa Rosa e recebe a denominação comercial de granito "Branco Nevasca".

METODOLOGIA

Foram realizados interpretação de fotografias aéreas; mapeamento topográfico e geológico no granito Santa rosa, o qual foi dividido em três áreas alvo. O mapeamento de detalhe foi realizado na área alvo 1.

O mapeamento de detalhe no fraturamento foi desenvolvido em três etapas:

Etapa A => Coleta de dados na pedreira ocorreu próximo à lavra, com malha 5 x 5 metros, onde cada fratura foi identificada ao longo das linhas da malha, segundo os parâmetros: distância, direção, mergulho, comprimento e espessura.

Etapa B => Tratamento dos dados coletados: As informações e os dados de direção foram trabalhados no software RockWare (rosetas) e Adobe. Com o diagrama de rosetas, foram definidos três principais conjuntos de fraturas. Estes dados geraram um mapa de isofreqüências.

Etapa C => Elaboração do Relatório: Apresentação dos resultados, conclusões e sugestões.

CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA

Geologia Regional

Geologicamente, a área ocupada pelo GSR (Granito Santa Rosa) está inserida no Domínio Cearense, sub-Faixa de Dobramentos Curú - Independência, (Brito Neves 1975 a), representada por unidades metassedimentares anteriores ao proterozóico e granitogênese neoproterozóicas. A área próxima ao Granito Santa Rosa exibe unidades paraderivadas correlacionáveis ao Complexo Ceará Central, correspondem, segundo Souza Filho (1998), a rochas de fácies anfíbolito médio/alto, deformadas e metamorfisadas no neo-Proterozóico.

Geologia Local

O granito Santa Rosa é intrusivo na porção oeste da seqüência pelito-psamítica composta predominantemente por biotita gnaisses, com estruturas ora gnáissica, ora xistosa ou ainda estromática, porfiroblástica, constituídos em proporções variáveis de moscovita, granada e sillimanita. A porção sudoeste do GSR intrude a seqüência psamítica-carbonática, que constituem serras alongadas de direções N-S.

O Granito é composto por quartzo, plagioclásio, K-feldspato (imprime uma coloração esbranquiçada à rocha) e mica esverdeada. Os minerais máficos, como óxido de manganês conferem à rocha um aspecto de flocos. Em alguns pontos, é notável a presença de fluorita e, em outras situações, ocorrem sulfetos que parecem acompanhar fraturas.

Microscopicamente o granito possui uma textura granular hipidiomórfica, cujo K-feldspato (microclínio) apresenta inclusões de plagioclásio e quartzo. O plagioclásio (albita/oligoclásio) é tabular, altera-se para mica branca, caulim e albita. (Queiroz, *et al.* 1997). As micas verdes compreendem às da série Zinwaldita-Lepidolita e as brancas Margarita (Ca, Na) -Paragonita. A presença de inclusões de opacos sugere que estas micas resultam da substituição de biotitas. Acessórios são granada, fluorita, zircão, apatita, topázio e minerais do grupo do epidoto.

Dentro do corpo granítico, na porção sul e norte, afloram biotita gnaisses em forma de lajedos. Petrograficamente, estas rochas correspondem aos biotita gnaisses que ocorrem ao longo dos contatos com o granito. A ocorrência de gnaisses das encaixantes no interior do corpo granítico, pode sugerir uma associação à "roof pendant". (Mattos, *et al.* 1997)

Alteração Intempélica

O óxido de manganês disseminado na massa granítica, em contato com águas meteóricas, mobilizou-se e concentrou-se em fraturas, e ainda, em concreções supergênicas próximas ao contato. São ocorrências geradas pela alteração intempélica.

Algumas porções do granito mais claro, denominado nevasca, ocorrem oxidadas de modo pervasivo. Este evento pode estar relacionado à presença de xenólitos de biotita gnaisses da encaixante, parcialmente digeridos em alguns pontos. As oxidações dos sulfetos (pirita e calcopirita) ocorrem em auréolas de diversos tamanhos e formas e estão associadas à percolação de fluidos oxidantes, responsável pela porção alterada do granito. As ocorrências destas oxidações estão diretamente relacionadas a um sistema de fraturamento de direção NNE.

CARACTERÍSTICAS DA GEOLOGIA ESTRUTURAL

Comportamento do Fraturamento

A figura 2 (a, b, c e d) em anexo apresenta os diagramas de roseta (5 em 5°) do fraturamento do

granito Branco Nevasca. No diagrama de roseta da figura 2a foram plotadas todas as fraturas. Este diagrama mostra um sistema de juntas constituído por três conjuntos C_I , C_{II} e C_{III} bem marcados e bem separados. O mergulho destes conjuntos é geralmente forte. Apesar das escassez de planos verticais, foi possível notar a raridade dos planos de muito baixo mergulho (esfoliação). As fraturas foram plotadas de acordo com o resultado inicial, em três diagramas: de N0 a N45 (diagrama b); de N45 a N90 (diagrama c) e N90 a N180 (diagrama d). Cada um destes três diagramas corresponde a um conjunto de fratura como estão representados nas figuras 2 b, c e d, em anexo.

Conjunto C_I : O diagrama mostrado na figura 2b pertence ao conjunto C_I e compreende 43,3% das fraturas mostra um máximo entre N15 e N35, com uma média N26. Dos três conjuntos, este é o que apresenta a maior quantidade de fraturas. Ele mostra uma dispersão importante em torno da média ($\pm 10^0$) e nunca apresenta um preenchimento por veio de quartzo. Frequentemente é marcado por verdadeiras zonas cisalhadas persistentes (dezenas de m de extensão longitudinal por até 30 cm de largura) (Foto 01 em anexo).

Conjunto C_{II} : O diagrama ilustrado na figura 2c pertence ao conjunto C_{II} . Este diagrama agrupa 23% das fraturas com um máximo entre N65 e N80, e uma média N74. É o conjunto que apresenta a menor quantidade de fraturas. Apresenta, como o anterior, uma dispersão importante ($\pm 7,5^0$) e, em raros casos, é preenchido por finos veios de quartzo (menos de 5mm).

Conjunto C_{III} : O diagrama indicado na figura 2d pertence ao conjunto C_{III} . O terceiro conjunto engloba 33,7% das fraturas. É o que apresenta a maior dispersão ($\pm 20^0$). A sua média, de N121, corresponde a duas máximas: N123 e N 117, o último sendo um pouco menos marcado. Neste conjunto são freqüentes os veios de quartzo que podem atingir até 10 cm de espessura. Uma das fraturas é também marcada por um veio aplítico de aproximadamente 5cm de espessura. As juntas com preenchimento espesso são geralmente muito persistentes e podem ser seguidas durante dezenas de m.

Persistência das Fraturas

Visando estimar sua penetratividade, as fraturas foram subdivididas em três conjuntos: C, ou curtas (pouco persistente), fraturas inferiores a 50 cm; M, ou médias (persistente), fraturas entre 50 cm e 2 m; L, ou longas (muito persistente), fraturas de comprimento superior a 2 metros. Estes valores foram escolhidos em função do tamanho ideal dos blocos: fratura curta não recorta um bloco; fratura média recorta um bloco; fratura longa recorta mais de um bloco.

Comportamento das Fraturas em Corte Vertical

Corte N114

a) das 37 fraturas que atingem a superfície, apenas 16 (43%) foram observadas no plano horizontal; b) contagens efetuadas ao longo de linhas horizontais

separadas por 70cm mostram que a quantidade de fraturas recortadas é comparável (apesar destas linhas muitas vezes recortarem fraturas diferentes); **c)** os mergulhos das fraturas são geralmente elevados (sub-verticais), mas variáveis, tanto na intensidade como na direção. Para a maioria das fraturas, Eles oscilam entre 80ESE e 80WSW. Raras são as fraturas apresentando mergulho intermediário a baixo; **d)** O aspecto escalonado observado em plano horizontal se confirma em corte vertical

Corte N24

a) 90% das fraturas que atingem a superfície foram observadas no plano horizontal; **b)** As contagens efetuadas em linhas horizontais separadas por uma distância de 1 m não mostraram diferenças ponderáveis no fraturamento; **c)** Neste plano também as fraturas apresentaram mergulhos geralmente elevados e variáveis.

Frequência das Fraturas

A figura 03 (e, f, g e h) em anexo mostra as curvas de isofrequências lineares (fraturas/m) determinadas na área pesquisada. A distribuição de frequências não apresenta um padrão geométrico simples.

Origem das fraturas

Embora possa parecer de pouco interesse prático, a determinação da gênese das fraturas pode ter um papel importante na avaliação da sua penetratividade:

C_I - Estas fraturas apresentam um aspecto penetrativo, atravessando sempre as capas de esfoliação. Não foram observados, sinais de movimento (como estrias ou deslocamento de objetos) nem preenchimento por veio de quartzo. Estas observações sugerem que elas devem ser associadas ao relaxamento de energia elástica posterior a uma deformação tectônica.

C_{II} - Estas fraturas raramente são preenchidas por quartzo. Algumas das fraturas deste conjunto são limitadas à capa de esfoliação, não penetrando na rocha maciça. Estas duas observações sugerem que parte das fraturas deste conjunto são antigas, tendo uma origem semelhante às anteriores, mas que parte são recentes, ligadas à decompressão do stock. Este fraturamento deve diminuir em profundidade.

C_{III} - Estas fraturas são freqüentemente marcadas pela presença de veios de quartzo de espessura de até 10 cm. Estas juntas caracterizam uma extensão que pode ser tardi ou pós-resfriamento do corpo. Ao longo do preenchimento, é comum observar estrias de falhas, geralmente normais com "rake" elevado, o que mostra que os planos foram retrabalhados, de novo em extensão. Esta origem sugere que estas fraturas são persistentes tanto horizontalmente (observado) como verticalmente e não é de se esperar uma diminuição notável da sua freqüência com a profundidade.

CONCLUSÕES

A) Os resultados obtidos neste trabalho confirmam que existem três conjuntos de fraturas perfeitamente definidos: C_I (N26), C_{II} (N74) e C_{III} (N121).

B) A ortogonalidade dos sistemas C_I e C_{III} justifica plenamente a escolha destes dois planos para controlar a lavra. A escolha da direção de plano C_{III} como frente de lavra decorre naturalmente da sua maior penetratividade, ligada a sua origem e a sua reutilização tectônica.

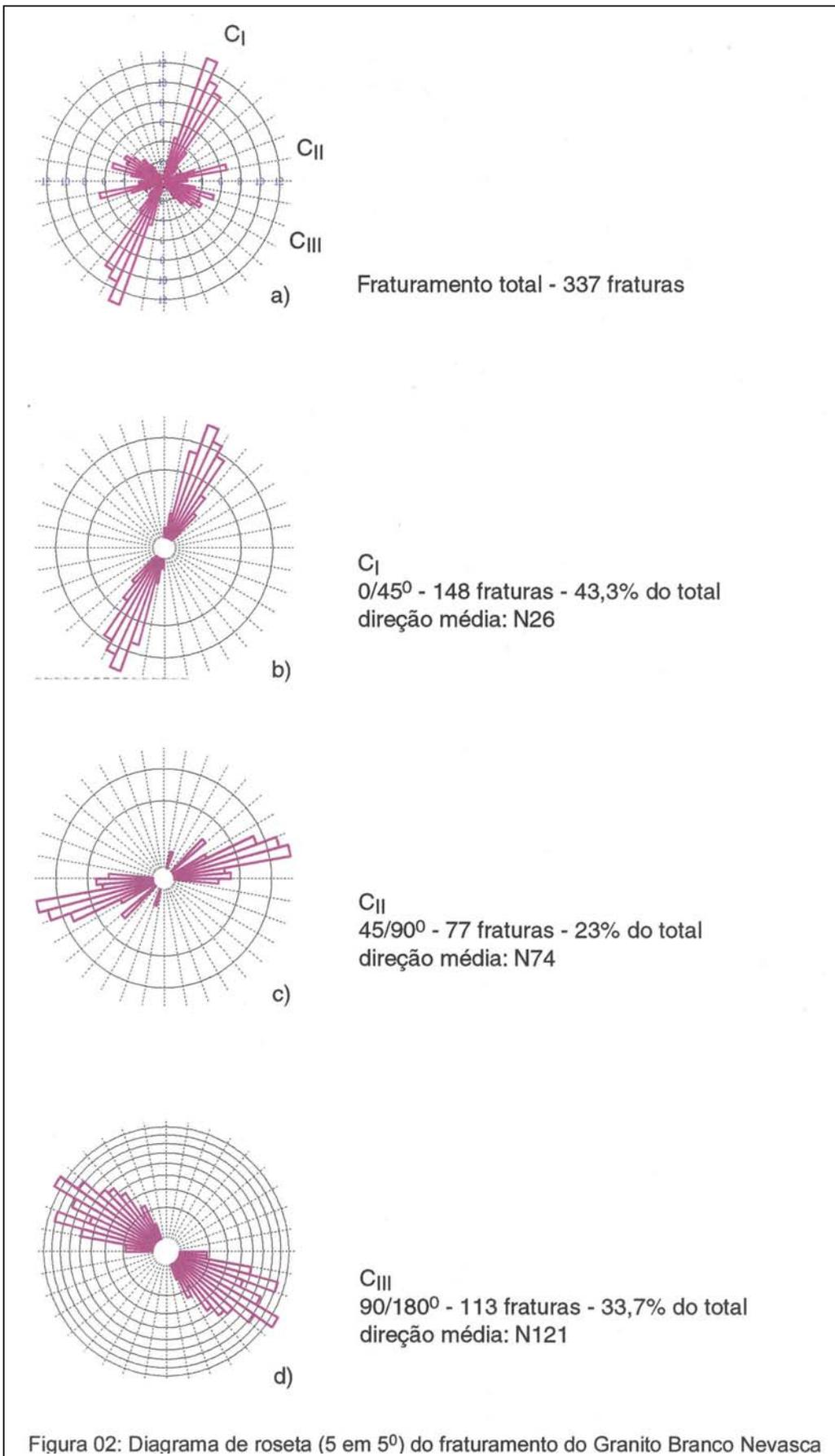
C) O mapa de isofrequência linear (figura 04, em anexo) não apresenta um padrão susceptível de ajudar na determinação do andamento da lavra, entretanto a região situada entre as linhas P7₊₂₅ e P7₊₃₅ corresponde a uma zona muito cisalhada.

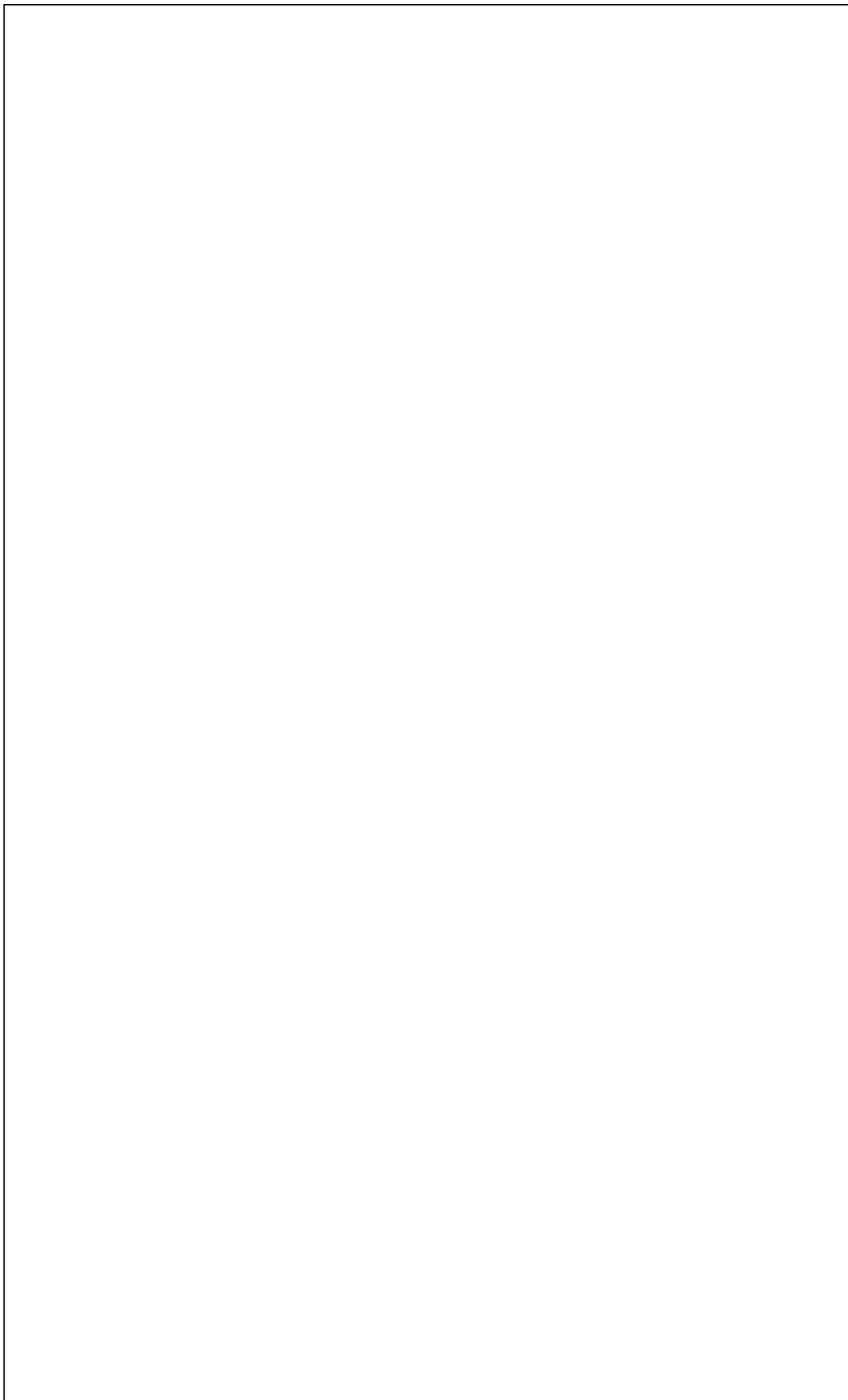
D) Alguns aspectos deste fraturamento podem ser considerados negativos: a) As três direções de fraturamento com persistências não muito diferentes, o que leva a formação de blocos não ortogonais; b) dispersão importante ($\pm 10^0$) nas direções das fraturas. c) A variabilidade do mergulho das fraturas. d) O aspecto escalonado das fraturas, tanto na vertical como na horizontal, que leva a formação de uma faixa fraturada de vários cm de largura.

E) Dentro dos aspectos favoráveis, podemos citar: a) a ortogonalidade de C_I e C_{III}. b) A boa probabilidade de ver a intensidade de C_I e, sobretudo, C_{II} diminuir com a profundidade. Caso esta diminuição de C_{II} se verifique, o potencial da lavra se tornaria mais efetivo. c) Como boa parte do manganês penetrou nas fraturas, é de se esperar que a contaminação diminuirá com o aumento da profundidade e será menos intensa nas regiões que não se apresentam encobertas por um paleosolo com encrostamentos ricos em manganês.

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

- MATTOS, I. C., SOUZA FILHO, O. & URSULINO, D. A. Caracterização Lito-Estrutural do Granito Santa Rosa Visando a Exploração Comercial. Anais do XVII Simpósio Brasileiro de Geologia do Nordeste – p.451-53 Fortaleza/ CE.
- MATTOS, I. C. & ALMEIDA, A. R. Petrografia e Processos Tardi A Pós-Magmáticos do Granito Santa Rosa – Irauçuba/Ce. Revista de Geologia, No Prelo.
- NEVES, B. B de B. 1975. Regionalização Geotectônica do Pré-Cambriano Nordestino. Instituto de Geologia. Tese de Doutorado. São Paulo USP. 198p.
- QUEIROZ, M. de A. & ZANIBONI, E. B. 1996. Estudo de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto Ambiental da Exploração do Granito Santa Rosa, Boa Vista do Caxitoré, Irauçuba-CE (relatório Interno).
- SOUZA FILHO, O. A. de. 1998. Mapa Previsional de Recursos Hídricos Subterrâneos - Projeto Folha Irauçuba. CPRM - Serviço Geológico do Brasil, Residência de Fortaleza. Dissertação de Mestrado. UFOP. Ouro Preto 160p.







CONTRIBUIÇÃO PARA O ESTUDO DAS PROPRIEDADES PETROFÍSICAS DO GRANITO ASA BRANCA E ROSA IRACEMA DO CEARÁ (BRASIL)

P.Figueiredo¹, L.Aires-Barros¹, J.R.Torquato², M.F.Bessa², M.A.B.Lima²,
A.H.M.Fernandes² e P.Machaqueiro³

¹ Laboratório de Mineralogia e Petrologia. I.S.T. Av. Rovisco Pais, 1096 – 1049-001 - Lisboa - Portugal
E_mail: pfigminas@popsrv.ist.utl.pt, airesbarros@popsrv.ist.utl.pt

² NUTEC – DITÊM. Av. Prof. Rômulo Proença, s/n, Campus do Pici – 60.451-970 – Fortaleza - CE
Fone: (85)287-5211 - Fax: (85)287-1522

E_mail: torquato@nutec.ce.gov.br, fbessa@nutec.ce.gov.br, angelica@nutec.ce.gov.br,

³ Licenciado em Engenharia de Minas e Georrecursos, I.S.T. Av. Rovisco Pais, 1096 – 1049-001 - Lisboa - Portugal

RESUMO

As rochas estudadas no presente trabalho são granitos designados comercialmente por Asa Branca (Branco Ceará) e por Rosa Iracema. São granitos do Estado do Ceará, Brasil. A jazida do Asa Branca situa-se no município de Santa Quitéria a 247 Km de Fortaleza, enquanto que a do Rosa Iracema ocorre na Serra da Barriga, município de Forquilha, a 220 Km de Fortaleza.

Neste trabalho analisam-se as propriedades relacionadas com a transferência de fluidos (água), nomeadamente a porosidade às 48 horas, a porosidade aberta, a porosidade total, o teor em água máximo, o coeficiente de Hirschwald e o coeficiente de capilaridade. Determinam-se, ainda, a velocidade de propagação dos ultra-sons e da resistência à compressão simples para as amostras secas e saturadas. Tenta-se estabelecer uma comparação entre os dois granitos estudados.

Com base neste conjunto de determinações procura-se estabelecer comparação geomecânica entre estes dois tipos de granitos. No que concerne à transferência de fluidos (água em especial) verifica-se que são muito semelhantes. Conclusões sobre a alterabilidade destas rochas exigem a realização de ensaios laboratoriais de envelhecimento acelerado.

INTRODUÇÃO

Rosa Iracema e Asa Branca são designações comerciais dadas aos granitos estudados neste trabalho. Devido às suas características estéticas, estes tipos de granitos têm uma aplicabilidade muito ampla.

Todavia, as modernas técnicas de construção de edifícios colocam novos desafios e levam ao limite a resistência desses materiais.

Sendo assim, a realização de ensaios que permitam o conhecimento das propriedades físico-mecânicas das rochas, é uma das maiores preocupações actuais no seu estudo tecnológico.

ENQUADRAMENTO GEOLÓGICO

O granito Rosa Iracema é lavrado e comercializado pelo Grupo GRANOS-IMARF na localidade denominada Fazenda Maurício na Serra da Barriga, Município de Forquilha, a noroeste da cidade com o mesmo nome. (Fig.1)

É uma jazida grosso modo elipsoidal com cerca de 7,5 Km a 8,5 Km de diâmetro que irrompe e corta todas as estruturas regionais (Fig.2). A sua idade ainda não foi determinada com precisão por se tratar de um corpo rochoso onde os sistemas químicos permanecem abertos. No entanto, por comparação com outros granitos regionais (Meruoca e Mucambo) acredita-se que se situará entre os 490 e os 550 Ma.

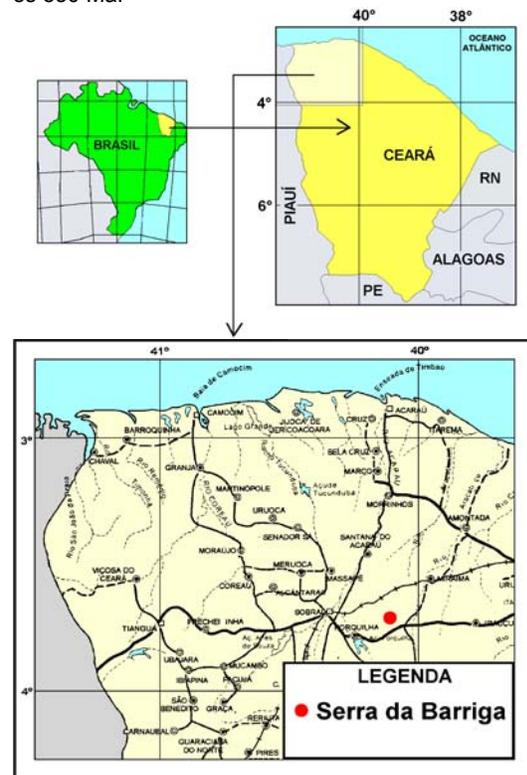


Figura 1: Localização geográfica da região da Serra da Barriga

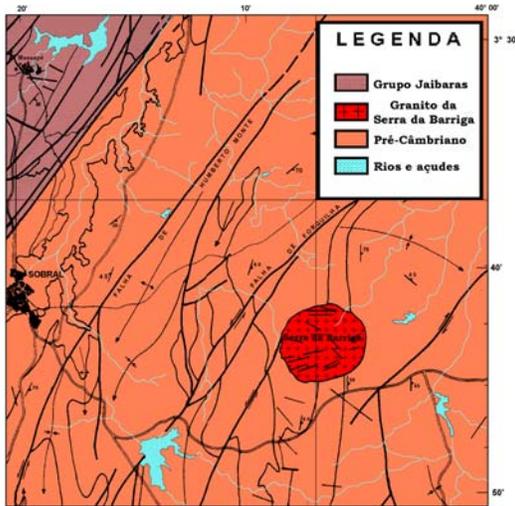


Figura 2: Esboço geológico da região da Serra da Barriga. (Fonte: COSTA et. al., 1977 – modificado)

Petrograficamente corresponde a um granito grosseiro de textura porfiróide e pegmatitóide, branco, cinza claro e avermelhado de acordo com o grau de metassomatismo potássico presente. A sua textura é hipidiomórfica granular grosseira, por vezes cataclástica como na região central cortada por importante fracturação, com microclina peritítica sob a forma de ripas e cristais subeuédricos. A parte restante da rocha é composta por quartzo e oligoclase. Como acessórios principais temos a biotite, mais raramente a fluorite, a moscovite e a sericite são acessórios secundários. Por vezes observa-se caulinição selectiva nos feldspatos, actuando nas plagioclases ficando os feldspatos alcalinos praticamente inalterados (COSTA et al, 1979).



Figura 3 – Aspecto da pedreira do granito Rosa

A pedreira do granito Asa Branca dista 250 km de Fortaleza e está situada no Ceará, Município de Santa Quitéria, Distrito de Trapiá, na localidade denominada de Serrote Morrinhos. Ocupa parte da Fazenda Memória/Lagoinha, com uma área de lavra de 565,25 ha. (Figuras 4 e 5). O granito é lavrado e comercializado pela mineração Granistone e recebe a

denominação comercial no Sudeste do Brasil com o nome de Branco Ceará.

A região onde se situa o granito é, na sua maior parte, pertencente ao Pré-cambriano tendo várias denominações de acordo com os diversos autores que a estudaram. Assim, por exemplo, para Campos et al.(1976) e para Braga et al.(1977) toda a região foi ocupado pelos Complexos Caicó e Tamboril-Santa Quitéria, ambos de constituição gnáissico-migmatítica. Para o Projeto Radambrasil (1981) toda as rochas da região foram englobadas no Complexo Nordestino desenvolvido durante o evento Transamazônico (ca. 2 Ga). Estudaram ainda a região Farina (1977) e outros autores que separaram o Pré-cambriano em sequências metamórficas e Brito Neves (1983) que caracterizou os migmatitos do Maciço de Santa Quitéria e os “stocks” graníticos da Serra da Barriga e de Morrinhos.

O granito Asa Branca ou Branco Ceará não apresenta indícios de deformação dúctil, mas sim nítidas evidências de deformação frágil, com regiões de intenso fracturamento provavelmente gerado por alívios tensionais. Composicionalmente este corpo varia de granito a monzogranito e mostra texturas variando de equigranular a porfiróide com foliação tectónica pouco a muito desenvolvida. Os minerais essenciais são quartzo (22%), feldspatos (54%), moscovite (20%) e minerais acessórios tais como hornblenda, titanite, apatite, minerais do grupo do epidoto, clorites e opacos.

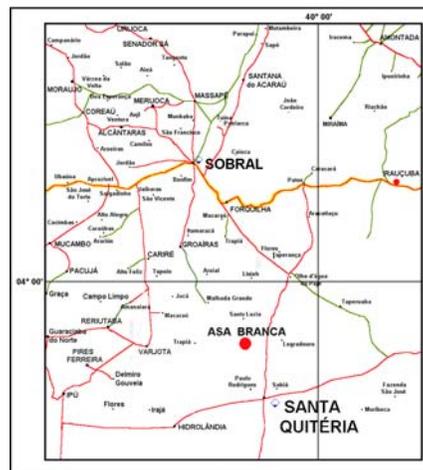
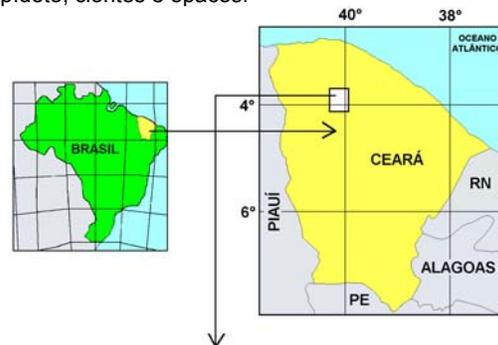


Figura 4: Localização geográfica da região do Granito Asa Branca.

corpos de prova eram de granito Asa Branca e 10 de Rosa Iracema.

Determinação da massa volúmica real e aparente, da porosidade aberta, da porosidade total e do teor em água máximo.

Para a determinação da porosidade aberta e da massa volúmica aparente utilizámos o método da balança hidrostática de acordo com a norma EN1936 (1999). O ensaio inicia-se com a secagem dos corpos de prova em estufa a 70 ± 5 °C até peso constante. Após a sua pesagem, em que se determina M_s , colocam-se em um recipiente de vácuo, tendo-se diminuído a pressão até 2.6667 kPa. Esta pressão manteve-se durante 24 horas para permitir a saída do ar dos poros. Findo este período, foi colocada dentro do recipiente água a uma temperatura próxima dos 20°C, mantendo-se o vazio durante a introdução da água e por mais 24 horas. Posteriormente deixaram-se as amostras durante mais 24 horas à pressão atmosférica normal. Findo o ensaio pesaram-se as amostras dentro de água, M_h e limpavam-se com um pano húmido para a determinação do peso saturado M_{sat} .

A massa volúmica aparente γ_d corresponde à razão entre o peso do corpo de prova seco M_s e o seu volume aparente V_t (para amostras com geometria definida calcula-se por medição directa) ou através de :

$$V_t = \frac{M_{sat} - M_h}{\gamma_a} \quad (m^3)$$

Em que γ_a é a massa volúmica da água (988 kg/m³ a 20°C).

$$\gamma_d = \frac{M_s}{V_t} \quad (kg/m^3)$$

A porosidade aberta N_a é a razão entre o volume dos poros abertos e o volume aparente do corpo de prova.

$$N_a = \frac{M_{sat} - M_s}{M_{sat} - M_h} \times 100 \quad (\%)$$

A massa volúmica real γ_s pode ser determinada através da relação entre a massa do corpo de prova seco M_s e o volume da parte sólida V_s (igual à diferença entre o volume aparente e o volume de poros) ou pelo método do picnómetro.

A porosidade total N_t é dada pela relação entre o volume total de poros e o volume aparente do corpo de prova.

Figura 5: Esboço geológico da região do granito Asa Branca.



Figura 6 – Aspecto da pedreira do Asa Branca

CARACTERIZAÇÃO FÍSICA

Para a realização de todos os ensaios utilizaram-se 24 corpos de prova cilíndricos com altura de 100 mm e diâmetro de 44 mm. Destes, 14

$$N_t = \left(1 - \frac{\gamma_d}{\gamma_s}\right) \times 100 \quad (\%)$$

O teor em água máximo $W_{m\acute{a}x}$. é dado por:

$$W_{m\acute{a}x} = \frac{M_{sat} - M_s}{M_s} \times 100 \quad (\%)$$

PROPRIEDADES DE IMBIBIÇÃO OU ABSORÇÃO

Absorção da água por imersão total

A absorção por imersão total de uma rocha à pressão atmosférica dá uma boa estimativa do grau de saturação natural, ou coeficiente de Hirschwald que uma rocha pode ter em meio natural. Este grau de saturação está directamente ligado à natureza da rocha e em particular às características do meio poroso, representando a percentagem em volume de poros livres (BOUSQUIE et al, 1980). Foi determinado o grau de saturação ou coeficiente de Hirschwald S48 segundo a norma Francesa NFB 10-504 (1973).

Em primeiro lugar, os corpos de prova vão à estufa a 70 ± 5 °C até peso constante, pesam-se, determinando-se M_s e colocam-se em um recipiente com água desmineralizada até $\frac{1}{4}$ da altura dos corpos de prova durante uma hora. Posteriormente enche-se com água até metade da altura durante 23 horas. Passadas estas 24 horas coloca-se água até à imersão total durante mais 24 horas, retiram-se do

$$N_{48} = \frac{V_w}{V_t} \times 100 \quad (\%)$$

recipiente, limpam-se com um pano húmido e pesam-se (M_{sat})

A porosidade acessível à água à pressão atmosférica, N_{48} é dada por:

Em que : V_w é o volume de água absorvido à pressão atmosférica
 V_t é o volume total do provete ensaiado

O coeficiente de Hirschwald S48 é dado por:

$$S_{48} = \frac{N_{48}}{N_t} \times 100 \quad (\%)$$

Absorção da água por capilaridade

Este ensaio tem como finalidade o estudo da cinética de imbibição e do grau de saturação. O ensaio realizou-se segundo o projecto de norma prEN1925 (1995).

Previamente os corpos de prova são secos a 70 ± 5 °C até peso constante, após o que são colocados num recipiente sobre tiras plásticas de modo a minimizar a superfície de contacto com o suporte e assegurar uma boa alimentação da água na base da amostra.

O nível de água tem 5mm de altura em relação à base da amostra, devendo-se manter o recipiente coberto, de forma a evitar a evaporação da água. Em intervalos de tempo crescentes (1/2, 1, 3, 8, 24, 48 e 72 horas) as amostras são pesadas depois de limpas com pano úmido.

Os resultados obtidos apresentam-se graficamente tendo em abcissas a raiz quadrada do tempo (\sqrt{t}) em $s^{1/2}$ e em ordenadas, a massa de água absorvida por unidade de superfície ($\Delta W/S$) em g/m^2 . Através do declive do primeiro troço determina-se o coeficiente de capilaridade C ($g/m^2 \cdot s^{1/2}$).

Para efeitos de comparação com os valores obtidos para o coeficiente de Hirschwald, S48 determinou-se o valor do grau de saturação no fim do ensaio de capilaridade Scap.

Resistência à compressão uniaxial

O ensaio de resistência à compressão uniaxial realizou-se com a finalidade de determinarmos a tensão de rotura à compressão simples, σ_c .

Para a execução deste ensaio seguiu-se o projeto de norma prEN1926 (1955). Os ensaios foram realizados em corpos de prova secos e em corpos de prova saturados com o objetivo de se determinar o coeficiente de enfraquecimento hidráulico.

Velocidade de propagação das ondas ultrasónicas

A velocidade de propagação das ondas ultrasónicas é uma característica do material e pode servir para determinar certas propriedades, nomeadamente o grau de fissuração e porosidade das rochas. É um meio de investigação complementar dos ensaios de resistência mecânica, ou seja as técnicas de ultrasons aplicam-se para o estudo da anisotropia, propriedades mecânicas e estrutura do meio (MOUZA et al, 1983).

O aparelho utilizado foi o Ultrasonic Instrument BPV, digital, cuja gama de medidas vai de 0,1 a 999,9 μs utilizando o método de transmissão de ondas sonoras que se encontra entre 25 e 200 kHz.

No presente trabalho apenas se determinaram as velocidades das ondas longitudinais, dado que são as que apresentam maior sensibilidade à presença de descontinuidades.

Os ensaios foram realizados sobre corpos de prova secos e sobre corpos de prova saturados em água.

A velocidade de propagação dos ultra-sons em rochas pouco porosas é controlada pela velocidade intrínseca da propagação dos minerais,

enquanto que as rochas porosas apresentam velocidade de propagação impostas pela proporção e morfologia dos vazios (DESSANDIER, 1995).

RESULTADOS OBTIDOS

Na tabela 1 encontram-se os valores médios obtidos nos ensaios de caracterização tecnológica atrás referidos.

Tabela 1 – Resultados médios obtidos

| TIPOS DE ENSAIOS | RESULTADOS | |
|--|------------|--------------|
| | ASA BRANCA | ROSA IRACEMA |
| Porosidade às 48 horas (N ₄₈) (%) | 0,79 | 0,68 |
| Porosidade aberta (N _a) (%) | 0,77 | 0,53 |
| Porosidade total (N _t) (%) | 2,05 | 1,69 |
| Teor em água máximo (W _{max}) (%) | 0,29 | 0,20 |
| Coefficiente de Hirschwald (S ₄₈) (%) | 38,29 | 40,75 |
| Massa aparente (γ _a) (g/m ³) | 2,60 | 2,61 |
| Massa real (γ _s) (g/m ³) | 2,66 | 2,65 |
| Coefficiente de capilaridade (C) (g/m ² .s ^{1/2}) | 0,69 | 0,62 |
| Velocidade de propagação de ondas (V _{seco}) (m/s) | 2963 | 2939 |
| Velocidade de propagação de ondas (V _{sat}) (m/s) | 3194 | 3211 |
| Resistência à compressão (σ _{seco}) (Mpa) | 135 | 92 |
| Resistência à compressão (σ _{saturado}) (Mpa) | 108 | 73 |

ANÁLISE DOS RESULTADOS

- Comparando os valores obtidos da porosidade aberta com a porosidade às 48 horas verifica-se que os valores obtidos são da mesma ordem de grandeza, o que significa que a determinação da porosidade sob o vácuo não tem influência nos valores obtidos.
- A porosidade total, como seria de esperar apresenta valores superiores aos das outras porosidades calculadas, uma vez que esta porosidade inclui o volume total de poros existentes na amostra, isto é os poros abertos e os poros fechados. A diferença de valores obtidos entre a porosidade total e as outras porosidades é justificada pela percentagem de poros oclusos e ocupados com ar.
- Relativamente ao teor em água máximo, pouco se pode dizer pois os dois tipos de rocha apresentam valores muito baixos.
- coeficiente de Hirschwald apresenta valores relativamente baixos, o que pode significar que a maior parte dos poros existentes estão preenchidos com ar. Como o coeficiente de Hirschwald exprime a capacidade natural da rocha para absorver água, é de prever face aos resultados obtidos, que as probabilidades de alteração por processos aquosos sejam fracas e

conseqüentemente a sua durabilidade não seja significativamente afetada.

- Da observação do gráfico (Figura 7) que permitiu a determinação do coeficiente de capilaridade C, verifica-se estarmos na presença de um meio poroso heterogéneo, isto é, rochas em que a subida capilar é fraca e em que o volume poroso preenchido por água é inferior ao que se atinge na imbibição às 48 horas.

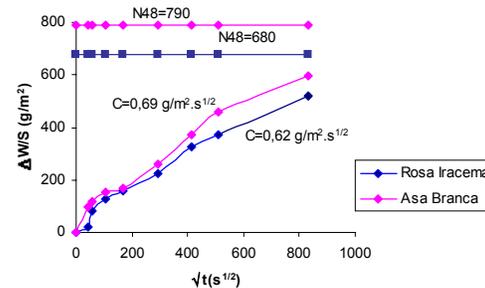


Figura 7 – Absorção da água por capilaridade em função \sqrt{t} .

- Os valores obtidos para a velocidade de propagação dos ultra sons permitem verificar que ambas as amostras estudadas apresentam valores de propagação superiores quando estão saturadas em água, o que era esperado, pois a velocidade de propagação das ondas é maior na água do que no ar.
- De acordo com ISRM (1979) verifica-se que o granito Asa Branca é uma rocha muito resistente quer seca quer saturada em água, enquanto que o granito Rosa Iracema é uma rocha classificada como resistente.

Calculando os valores para o coeficiente de enfraquecimento hidráulico obtém-se um valor de aproximadamente 80% para as duas rochas, o que significa que o decréscimo da resistência à compressão simples em climas muito chuvosos é cerca de 20%.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com os resultados obtidos na caracterização física destes dois granitos verifica-se que eles são muito semelhantes no que concerne às propriedades relacionadas com a transferência de fluidos. A única diferença significativa reside na resistência à compressão simples em que se observa que o granito Asa Branca é significativamente mais resistente.

Deve salientar-se que estes ensaios se realizaram sobre rochas sãs, e que os mesmos ensaios deverão ser repetidos para rochas envelhecidas artificialmente em câmara de climatização, simulando o clima em que estas rochas ornamentais são aplicadas e os poluentes atmosféricos a que se sujeitam. Só assim se poderia

tirar conclusões mais precisas sobre a efetiva durabilidade destas rochas.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi realizado através do convênio de cooperação bilateral Brasil/Portugal (CNPq/ICCTI).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRAGA, A. de P.G. et al. (1977) - *Projeto Fortaleza*; relatório final. Recife. DNPM/CPRM. 10 v.

BRASIL (1981) - *Projeto Radambrasil*. Folha AS.24 – Fortaleza. Vol. 21. 483 pp.

BRITO NEVES, B.B. de, (1983) - *O mapa geológico do Nordeste Oriental (escala 1/1.000.000)*. Tese de Livre Docência. IG/USP. Mimeografado. 177 p.

CAMPOS, M. de (1969) - *Projeto Rio Jaguaribe*; Relatório final. Recife. DNPM/CPRM.

COSTA, M.J., FRANÇA, J.B., LINS, C.A.C., BACCHIEGGA, I. F., HABEKOST, C. R. & CRUZ, W. B. (1979) - Geologia da bacia do Jaibas, Ceará, Piauí e Maranhão. Projeto Jaibas. Ministério das Minas e Energia-MME, Departamento Nacional da Produção Mineral-DNPM. Série Geológica n°14. 106 pp.

FARINA, M. (1977) - Perspectivas metalogenéticas de alguns granitos pós-orogênicos do Nordeste Brasileiro. In: Simp. Geol. Nordeste. 8. Campina Grande, 1977. Atas...Campina Grande, Bol. Núcleo Nordeste da SBG. v. 6. p. 121-129.

ISRM (1979) – Suggested methods for determining the uniaxial compressive strength and deformability of rock materials. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr. Vol.16.

CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DE ROCHAS ORNAMENTAIS NA CONSTRUÇÃO CIVIL: ESTUDO DE CASO NA EDIFICAÇÃO DO TRIBUNAL DE JUSTIÇA DE PERNAMBUCO

Ivo Pessato Paiva¹ e Vanildo de Almeida Mendes¹

¹ Geólogos da CPRM – Serviço Geológico do Brasil
Rua das Pernambucanas, 297 – Bairro Graças – 52.011-010 – Recife – PE
E_mail: geremipe@fisepe.pe.gov.br

RESUMO

O presente trabalho tem a finalidade de apresentar os procedimentos e critérios adotados na seleção e aplicação de granitos ornamentais, empregados na construção do Tribunal de Justiça de Pernambuco executado pela Sergen S/A. No texto em questão, serão feitas considerações sobre a metodologia de escolha do granito aplicado na obra, os tipos de ensaios de caracterização tecnológica utilizados, a relação existente entre as características físicas, mecânicas e petrográficas da rocha versus ambiente de aplicação, espessura das chapas e plano de corte considerado, entre outros.

INTRODUÇÃO

Em virtude do revestimento, de granito da obra, quer seja na forma de fachada ou de piso, ficarem sujeitos às condições agressivas do meio ambiente, fez-se necessário definir as características petrográficas e mecânicas das rochas serem empregadas, através de ensaios de caracterização tecnológica, de forma a permitir a definição dos seguintes parâmetros: resistência a flexão, compressão uniaxial., dilatação térmica linear, resistência ao impacto, dureza, porosidade, absorção d'água e o desgaste Amsler. Com base nos resultados elaborou-se o critério de escolha dos materiais pétreos, para revestimentos das fachadas internas e externas, além dos pisos internos da obra em análise que seriam definidos a partir das seguintes características: aspecto estético decorativo da rocha; e composição mineralógica; tipo petrográfico (propriedades físicas e mecânicas da rocha); definição do sistema de fixação a ser empregado e do conhecimento das cargas atuantes sobre o revestimento.

METODOLOGIA

Como consequência da integração das características tecnológicas das rochas, realizou-se a escolha dos materiais que foram utilizados nos diversos ambientes do prédio, além da definição das espessuras e dimensões das placas. Em função dos resultados dos ensaios de caracterização tecnológica, mais precisamente devido aos parâmetros obtidos no grau de absorção, porosidade, coeficiente de dilatação térmica linear e do desgaste Amsler, escolheu-se os granitos Branco Nevasca e Verde Ceará, como material de revestimento das paredes internas e pisos dos banheiros e demais interiores da obra (ver tabela 1). Além do excelente aspecto estético-decorativo que apresentam, contribuíram na escolha destes granitos o baixo índice de porosidade, absorção da água e do coeficiente de dilatação

térmica linear, além do elevado valor da resistência ao atrito (desgaste Amsler) conforme os coeficientes na tabela 2.

No que tange ao granito utilizado para o revestimento lateral externo, incluídas as placas de coluna, teto e viga, foi empregado o granito Vermelho Ventura, o qual além de apresentar um excelente aspecto visual e estético-decorativo, mostrou ótimo resultado, especialmente no que concerne aos índices de resistência a flexão uniaxial e coeficiente de dilatação térmica linear (ver tabela 3). Em função do aspecto estético e dos resultados dos ensaios tecnológicos referenciados, ficou decidido que as placas de coluna e viga seriam de material flameado, medindo 3cm de espessura por 1,492 m de comprimento por 1,490 m de largura. As placas de rochas utilizadas como revestimento das paredes externas, foram em função do aspecto estético, aplicadas na forma polida e devido a menor incidência de carga de vento, foram projetadas nas dimensões de 3 cm de espessura por 0,746 m de largura e 1,492 m de comprimento. Quanto as placas de forro, verificou-se com base nos resultados dos ensaios de resistência a flexão e dos índices de densidade do material, que as mesmas deveriam ser aplicadas como placas flameadas, medindo 4 cm de espessura por 1,492 m de comprimento por 0,746 m de largura.

SISTEMA DE FIXAÇÃO ADOTADA

Na fixação das placas de rochas como revestimento lateral externo e das peças de viga, forro e colunas, utilizou-se o sistema de fixação com componentes metálicos, através de pinos previamente especificados para suportarem o peso do próprio revestimento, além das demais cargas atuantes na placa e suas deformações diferenciais existentes entre a rocha e a parede de fixação (suporte).

Como sistemática de trabalho, utilizou-se os resultados das determinações do coeficiente de dilatação térmica linear, a densidade do material e o valor do módulo de resistência a flexão. Em função dos índices expostos nas tabelas 3 e 4 e levando-se em consideração os parâmetros estudados na análise estrutural da rocha, verificou-se que a rocha, devido a distribuição planar dos seus contribuintes minerais, apresenta em relação aos 3 (três) planos que contém, valores diferenciados em relação ao índice de resistência a flexão (ver figura 1). Ainda com base nestes elementos, verificou-se que o plano YZ (segundo plano da rocha), apresentou os maiores valores de resistência a flexão, ou seja, constitui o plano ideal de corte das placas a serem aplicadas na

obra, tanto na condição de revestimento de coluna, paredes e vigas, quanto de forro. Em seguida utilizou-se as equações abaixo discriminadas para definir a espessura das placas, o espaçamento entre as juntas e as dimensões das peças.

O coeficiente de dilatação térmica linear, que constitui a base para a definição das áreas das placas e do espaçamento entre as juntas de fixação é dado pela equação:

$$B = \frac{L}{L_0 \times T}$$

onde: B = Coeficiente de dilatação térmica linear (mm/m C°)

L = Incremento de comprimento do corpo de prova (m)

L₀ = Comprimento inicial do corpo de prova (m)

T = Incremento de temperatura (C°)

No que se refere ao módulo de resistência a flexão, a norma norte-americana afirma que os valores abaixo de 10,34 MPa, são considerados restritivos, necessitando de placas de espessuras maiores e áreas menores, para suportar as solicitações de flexões causadas pela carga de vento e no caso das placas de teto do próprio peso do revestimento.

O índice de resistência a flexão é calculada através da seguinte expressão:

$$R = \frac{3PL}{2bd^2}$$

Onde: R = Tensão de ruptura na flexão (Mpa)

P = Força de ruptura (KN)

L = Comprimento da peça

b = Largura da peça

d = Espessura do corpo de prova ou da placa

Conseqüentemente a espessura da placa é determinada através da expressão:

$$d^2 = \frac{3PL}{R2b} \quad d = \frac{3PL}{R2b}$$

$$d^2 = \frac{3PL}{R2b} \quad d = \frac{3PL}{R2b}$$

Onde P é considerado como valor da força exercida pela carga de vento.

AValiação DOS RESULTADOS

Com o intuito de definir o plano de maior resistência a flexão do granito destinado a produção das placas de forro, decidiu-se coletar 04 amostras de cada um dos 3 (três) diferentes planos conhecidos comercialmente como Vermelho Ventura, e fazer a serragem e flameamento para enviá-las ao laboratório de Mecânica de Rocha da UFPE (ver tabela 3), para realização dos ensaios de resistência a flexão segundo a norma ASTM C 880. Os planos de corte da rocha foram definidos segundo os planos XY, XZ e YZ conhecidos na prática de desmonte de rochas

popularmente como “Corrida”, “Trincante” e “Segundo”.

Como os resultados expostos na tabela 3, verificou-se que o plano YZ (segundo da rocha), constitui o plano de maior resistência a flexão, devendo portanto, ser o plano de corte escolhido para placas de forro. Estas atuarão, quando aplicadas na obra, com amplo esforço gravitacional, além das parcelas de carga decorrentes da força do vento e dos esforços tencionais devido a dilatação e contração do corpo em função das variações de temperatura.

Com base no exposto e levando-se em consideração as características tecnológicas, principalmente, da mecânica da rocha e resistência dos materiais, adotou-se o procedimento de orientar os blocos extraídos na pedreira, para obtenção das placas da obra do edifício do Tribunal de Justiça de Pernambuco, a ter o comprimento direcionado segundo o plano YZ. O acerto de tal metodologia de trabalho foi posteriormente confirmado, através de novos ensaios tecnológicos, visando definir o índice de resistência a flexão, elaborados pelo IPT (ver tabela 4), o qual confirmou os resultados obtidos anteriormente.

DIMENSIONAMENTO DA ESPESSURA

Tomando-se por base estudos técnicos de resistência à tração, desenvolvidos a partir dos ensaios de resistência a flexão, efetuados em amostras do granito Vermelho Ventura, verificou-se que para produzir as placas de forro nas dimensões de 1,492 m x 0,746 m ao longo dos 03 (três) planos analisados, a espessura dos mesmos deveriam variar de acordo com o plano a ser considerado. Isto é, para as peças produzidas ao longo da corrida da pedra (plano XY) a espessura da placa deveria ser de 49 mm, no caso das peças serradas em paralelo ao Trincante (plano XZ) a espessura da placa será de 43 mm; enquanto o material deverá ser processado ao longo de segundo da rocha (plano YZ), a espessura final da placa seria de 36 mm posterior arredondada para 48 mm para um índice de resistência a flexão de 9400 MPa.

CONTROLE DE QUALIDADE ADOTADO

Com o objetivo de evitar-se o aparecimento de patologias nos materiais aplicados, resolveu-se adotar rígido controle de qualidade nas placas a serem fixadas, a fim de inibir futuramente o aparecimento de fissuras, quebramentos, fraturas, manchas, pontos de oxidação e eflorescência. Convém frisar, que o aparecimento de tais defeitos, além do aspecto estético-decorativo da obra, contribui para provocar instabilidade no revestimento, o que poderá vir a ocasionar sérios problemas no futuro.

Inicialmente foi realizada uma criteriosa análise visual das placas recebidas, com a finalidade de verificar as dimensões das peças, o esquadreamento, a posição dos furos, a bitola de cada placa, além da presença de pontos de oxidação na rocha. Em seguida, foi elaborada a lavagem de cada placa, com intuito de verificar a presença de

fraturas, o que viria comprometer a estabilidade do revestimento. Após a elaboração desse rígido controle, as peças fora de especificação foram trocadas por outras em perfeitas condições de uso.

No que concerne as placas de piso, foi avaliada rigorosamente suas dimensões e a equidistância das juntas entre os componentes de modo a respeitar o coeficiente de dilatação térmica linear da rocha, além de observar a retilidade do plano da placa e a presença de fissura e quebraamentos na mesma, o que provocaria em futuro próximo o descolamento da peça.

Em paralelo aos serviços de avaliação do material pétreo a ser fixado, foram analisados criteriosamente o nivelamento e planicidade do local de assentamento, com o intuito de evitar problemas de descolamento de placas assentadas nos pisos e revestimento das paredes internas da edificação.

CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos, pode-se concluir que a realização dos ensaios de caracterização tecnológica, associado a um rigoroso controle de qualidade, são atividades de fundamental importância durante a execução de um projeto de aplicação de rochas ornamentais como revestimento. Convém salientar, que nos países da Europa, notadamente na Itália, tais procedimentos fazem parte da metodologia normal de trabalho. Em consequência nas obras de engenharia lá edificadas, não se notam as patologias citadas no presente texto e tão comuns em nossas edificações. Em consequência é mister criar em nossos arquitetos e construtores, a cultura do granito, de forma que a metodologia de trabalho, acima apresentada, passe a constituir um procedimento para utilização em nossa indústria da construção.

TABELA 1 - RESULTADOS ANALÍTICOS DOS GRANITOS SELECIONADOS PARA A OBRA

| Nome Comercial | Nome Petrográfico | Massa Específica g/cm ³ | Porosidade (%) | Absorção (%) | Compressão (MPa) | Flexão (MPa) | Impacto (cm) | Desgaste Amsler (mm) | Coefficiente Dilatação Ter. Linear (10 ³ /mm ² C) |
|----------------------|-------------------|------------------------------------|----------------|--------------|------------------|--------------|--------------|----------------------|---|
| Rosa Iracema | Granito | 2,611 | 0,82 | 0,31 | 145 | 13,29 | 66 | 0,61 | 13,5 |
| Verde Meruoca | Granito | 2,62 | 0,33 | 0,13 | 135,14 | 14,49 | 70 | 0,68 | 10,8 |
| Verde Ventura | Granito | 2,62 | 0,59 | 0,22 | 151,5 | 10,7 | 55 | 0,72 | 11,4 |
| Branco Nevasca | Granito | 2,625 | 0,66 | 0,25 | 86,1 | 14,8 | 81,3 | 0,75 | 11,5 |
| Cotton Bahia | Granito | 2,653 | 0,31 | 0,12 | 202,1 | 23,83 | 44 | 0,49 | 10,8 |
| Jacarandá Bahia | Sienito-gnaiss | 2,671 | 0,24 | 0,09 | 170,7 | 18,9 | 45 | 0,7 | 11,4 |
| Samba | Migmatito | 2,63 | 0,5 | 0,35 | 99,6 | | | | 14,8 |
| Branco Cristal Verm. | Albita-granito | 2,607 | 1,19 | 0,46 | 107 | 16,7 | 60 | 0,65 | |
| Tanquinho | Granito | 2,745 | 0,29 | 0,1 | 157,4 | 15,58 | 51 | 0,82 | 9,2 |
| Marrom Imperial | Monzonito | 2,71 | 0,73 | 0,33 | 78,13 | | | | |
| Verm. Ventura | Granito | 2,67 | 0,75 | 0,34 | 97 | 10,58 | | | |
| Rosa Meruoca | Granito | 2,59 | 1,13 | 0,44 | 85,1 | 10,9 | | | |

Fonte: Elaboração de Vanildo de Almeida Mendes, a partir de informações das empresas fornecedoras dos materiais e da UFPE

TABELA 2 – VALORES ESPECIFICADOS PELA NORMA ASTM E SUGERIDOS NO BRASIL

| Propriedades | Valores fixados pela ASTM | Valores Sugeridos no Brasil |
|--|---------------------------|-----------------------------|
| Massa específica (Kg/cm ³) | 2.560,00 | 2.550 |
| Porosidade aparente (%) | n.e | 1.0 |
| Absorção d'água (%) | 0.4 | 0.4 |
| Velocidade de propagação de ondas (m/s) | n.e | 4.000 |
| Dilatação térmica linear (10 ⁻² / mm C ²) | n.e | 12.0 |
| Desgaste de Amsler (mm) | n.e | 1.0 |
| Compressão Uniaxial (Mpa) | 131.0 | 100 |
| Flexão (Módulo de ruptura) Mpa | 10.34 | 10 |
| Módulo de deformabilidade Estático (Gpa) | n.e | 30 |
| Impacto de corpo duro (m) | n.e | 0.4 |

Fonte: AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIAIS – ASTM
FRASÃO & FARJALLAT

NOTA: N.E. = NÃO ESPECIFICADO

TABELA 3 – RESULTADOS DOS ENSAIOS DE RESISTÊNCIA A FLEXÃO (FORNECIDOS PELA UFPE)

| Corpo de Prova | DIMENSÕES (CM) | | Carga de ruptura P (kgf) | Tensão de ruptura P (MPa) |
|----------------|------------------|----------------|--------------------------|---------------------------|
| | Espessura d (cm) | Largura b (cm) | | |
| 1 Plano ZX | 3 | 4,5 | 300 | 5,460 |
| 1 Plano ZY | 3 | 4,5 | 300 | 10,58 |
| 1 Plano XY | 3 | 4,5 | 300 | 6,830 |

Fonte: Departamento de Engenharia de Minas da UFPE.

Nota: o valor mínimo sugerido pela ASTM é de 8,27 MPa, em consequência o valor apresentado pelo ZY, atende perfeitamente as especificações da obra.

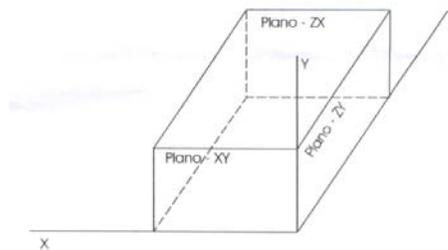
TABELA 4 C – RESULTADOS DOS ENSAIOS DE RESISTÊNCIA A FLEXÃO, SEGUNDO O PLANO XY (TRINCANTE DA ROCHA)

| Corpo de prova (n°) | Dimensões (cm) | | Carga de ruptura, P (kgf) | Tensão de ruptura R | | Velocidade de propagação |
|------------------------------|----------------|-------------|---------------------------|---------------------|--------------|--------------------------|
| | Espessura (d) | Largura (b) | | kgf/cm ² | MPa | |
| 6 | 3,08 | 4,59 | 178,7 | 83,2 | 8,16 | 4.540 |
| 8 | 3,07 | 4,55 | 204,3 | 96,3 | 9,44 | 4.800 |
| 5 | 3,08 | 4,56 | 217,2 | 101,5 | 9,95 | 4.450 |
| 7 | 3,08 | 4,58 | 222,8 | 104,3 | 10,23 | 4.670 |
| 1 | 3,09 | 4,58 | 226,5 | 105,1 | 10,31 | 4.540 |
| 2 | 3,10 | 4,54 | 228,6 | 105,9 | 10,39 | 4.380 |
| 3 | 3,10 | 4,56 | 239,1 | 110,8 | 10,87 | 4.650 |
| 4 | 3,11 | 4,56 | 248,3 | 114,1 | 11,19 | 4.650 |
| MÉDIA | | | | 102,7 | 10,07 | 4.590 |
| DESVIO PADRÃO | | | | 9,5 | 0,94 | 130 |
| COEF. DE VARIACÃO (%) | | | | 9 | 9 | 3 |

Fonte: Instituto tecnológico do Estado de São Paulo – IPT

TABELA 4 A – RESULTADOS DOS ENSAIOS DE RESISTÊNCIA A FLEXÃO, SEGUNDO O PLANO XY (CORRIDA DA ROCHA)

| Corpo de prova (n°) | Dimensões (cm) | | Carga de ruptura, P (kgf) | Tensão de ruptura R | | Velocidade de propagação |
|------------------------------|----------------|-------------|---------------------------|---------------------|-------------|--------------------------|
| | Espessura (d) | Largura (b) | | kgf/cm ² | MPa | |
| 2 | 3,02 | 4,51 | 91,3 | 45,0 | 4,41 | 5.520 |
| 4 | 3,05 | 4,60 | 122,1 | 57,7 | 5,66 | 4.890 |
| 1 | 3,01 | 4,55 | 164,2 | 80,8 | 7,92 | 5.130 |
| 7 | 2,99 | 4,58 | 489,8 | 94,1 | 9,23 | 5.480 |
| 5 | 3,01 | 4,57 | 197,0 | 96,5 | 9,46 | 5.100 |
| 8 | 2,97 | 4,58 | 196,0 | 98,2 | 9,63 | 5.600 |
| 3 | 3,00 | 4,57 | 233,9 | 115,0 | 11,28 | 5.380 |
| 6 | 3,00 | 4,54 | 237,6 | 117,8 | 11,55 | 4.880 |
| MÉDIA | | | | 88,1 | 8,64 | 5.248 |
| DESVIO PADRÃO | | | | 25,8 | 2,53 | 160 |
| COEF. DE VARIACÃO (%) | | | | 29 | 29 | 5 |

Figura 1 – Definições dos Planos XY, ZX e ZY

Nota: Plano XY – Trincante da Rocha
Plano ZY – Segundo da Pedra
Plano ZX – Corrida da Rocha

TABELA 4 B – RESULTADOS DOS ENSAIOS DE RESISTÊNCIA A FLEXÃO, SEGUNDO O PLANO YZ (SEGUNDO DA ROCHA)

| Corpo de prova (n°) | Dimensões (cm) | | Carga de ruptura, P (kgf) | Tensão de ruptura R | | Velocidade de propagação |
|------------------------------|----------------|-------------|---------------------------|---------------------|--------------|--------------------------|
| | Espessura (d) | Largura (b) | | kgf/cm ² | MPa | |
| 4 | 2,99 | 4,59 | 178,7 | 88,5 | 8,68 | 5.350 |
| 7 | 2,99 | 4,59 | 199,9 | 98,9 | 9,7 | 5.350 |
| 8 | 2,99 | 4,58 | 203,6 | 100,5 | 9,86 | 5.200 |
| 5 | 2,99 | 4,57 | 202,8 | 100,7 | 9,88 | 5.390 |
| 2 | 3,00 | 4,58 | 238,2 | 117,4 | 11,51 | 5.000 |
| 6 | 3,01 | 4,57 | 244,5 | 119,4 | 11,71 | 5.300 |
| 1 | 3,00 | 4,56 | 275,7 | 136,3 | 13,37 | 4.830 |
| 3 | 2,99 | 4,56 | 274,6 | 136,9 | 13,43 | 5.240 |
| MÉDIA | | | | 112,3 | 11,02 | 5.210 |
| DESVIO PADRÃO | | | | 18 | 1,77 | 200 |
| COEF. DE VARIACÃO (%) | | | | 16 | 16 | 4 |

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

FRASÃO, Ely Borges e FARJALLAT, José Eduardo Siqueira – Proposta de especificação para rochas salicáticas de revestimento – Inst. Tecnológico do Estado de São Paulo – JPT – São Paulo, Março de 1997;

FRASÃO, Ely Borges e FARJALLAT, José Eduardo Siqueira – Seleção de pedras para revestimento e propriedades requeridas – Inst. Tecnológico do Estado de São Paulo – JPT – São Paulo, Maio de 1996;

FLAIN, Eliana Patta – Uso e aplicação de revestimento com placas de rochas – 1 – Seminário de Rochas Ornamentais do Nordeste, Novembro de 1998.

VIDAL, Francisco W. Hollanda – Avaliação de Rochas Ornamentais do Ceará através de suas Características Tecnológicas – Centro de Tecnologia Mineral – CETEM, Rio de Janeiro, Dezembro de 1999.

I – MICROCLIMA E COMPORTAMENTO DAS ROCHAS EM MONUMENTOS: O PALÁCIO DA BEMPOSTA

P. Figueiredo¹, L. Aires-Barros², A. Flambó³

¹ Centro de Petrologia e Geoquímica do I.S.T. Av. Rovisco Pais, 1096 – 1049-001 - Lisboa - Portugal

E_mail: pfigminas@popsrv.ist.utl.pt

² Laboratório de Mineralogia e Petrologia do I.S.T. Av. Rovisco Pais, 1096 – 1049-001 - Lisboa - Portugal

airesbarros@popsrv.ist.utl.pt

³ Academia Militar. Paço da Rainha, 29 – 1169-203 – Lisboa – Portugal

anibal.flambó@clix.pt

RESUMO

No presente trabalho estuda-se a influência que as variações climatéricas podem ter na deterioração das rochas ornamentais existentes na Capela do Palácio da Bemposta em Lisboa. As variações de temperatura, de humidade relativa e do ponto de orvalho são analisadas quer isoladamente quer através da Análise de Componentes Principais (ACP).

Este trabalho pretende ser de carácter orientativo na apresentação de uma metodologia que se crê produtiva e que pressupõe intenso trabalho *in loco*, bem como seu tratamento informático dada a vasta soma de dados obtidos e a obter.

INTRODUÇÃO

O Palácio da Bemposta é uma construção nobre, palaciana de relativa opulência inicial, construída no final do século XVII, mas já sem o sentido exterior arquitectónico daquele período. Em 1851 o Palácio da Bemposta foi cedido para a Escola do Exército, actual Academia Militar. No entanto, a Capela do referido Palácio ficou excluída de tal concessão até 1910, data em que o Ministério da Justiça entrega ao Comandante da Escola do Exército não só a Capela como a Torre da Bemposta.

OBJETIVOS

O estudo das patologias patentes no Palácio da Bemposta, em especial da sua Capela tem como objetivo tentar contribuir para a tomada de medidas de preservação de um monumento histórico que se pode considerar um magnífico exemplar da arquitetura religiosa decorativa ao estilo setecentista.

O conhecimento, identificação e tratamento dos problemas de conservação em monumentos históricos é, em primeiro lugar, um tema de maior importância cultural, pois permite, para além do melhor conhecimento e divulgação do nosso património a sua conservação para gerações vindouras. O nosso património construído, para além do interesse histórico evidente, faz parte da nossa herança cultural e é uma componente essencial da imagem que o povo português faz do seu país.

A evolução tecnológica veio acelerar, de forma por vezes muito aguda, fenómenos de degradação e deterioração dos monumentos, pois

estes encontram-se expostos às agressões do ambiente citadino moderno.

Em particular, as rochas ornamentais, tão usadas na construção e decoração destes edifícios, mostram-se, em alguns casos, extremamente susceptíveis ao desgaste do ambiente urbano, criando-se situações de ruína e destruição extremamente rápida.

Para se combater este fenómeno, é necessário o conhecimento pormenorizado dos mecanismos de envelhecimento das rochas, bem como o estudo aprofundado da integração destes materiais no próprio edifício.

De fato, não é possível tratar adequadamente qualquer problema de conservação ou restauro sem o conhecimento das características da rocha, do seu estado de alteração e das causas e mecanismos que a provocaram. Para tal, deve começar por se estudarem os parâmetros que se ligam com a sua alteração, que de forma genérica são a natureza da própria rocha, isto é os fatores intrínsecos e os fatores que provocam essa alteração, ou seja, os fatores extrínsecos.

Para impedir ou reduzir a deterioração das rochas em monumentos o conhecimento das suas características e do seu grau de alteração é imprescindível.

O Palácio da Bemposta é um exemplo típico desta problemática. Situado no centro da cidade de Lisboa, exposto à agressão do ambiente lisboeta, repleto de poluição atmosférica, este palácio é decorado por vários tipos de rochas ornamentais, cuja degradação é, em alguns locais, bem visível.

AS ROCHAS USADAS NA CONSTRUÇÃO DA CAPELA

Na Capela da Bemposta as rochas utilizadas foram os calcários do Jurássico superior e do Cretácico, provavelmente explorados na área da cidade de Lisboa e o mármore de Carrara.

Estes calcários têm sido usados desde o século XII até aos nossos dias na edificação de monumentos parecendo plausível que este uso extensivo requeira um maior e melhor conhecimento das características físicas destas rochas nomeadamente para equacionar a manutenção destes edifícios e para prevenir a sua degradação.

Os tipos de calcários identificados são semicristalinos ou cristalinos.

O lioz⁴ e o encarnadão são calcários com rudistas de idade cretácica superior e que ainda hoje são explorados como rocha ornamental na zona de Pero Pinheiro.

Outra das rochas identificadas é o azul de Sintra, também conhecido por calcário de S. Pedro. São formações jurássicas, de idade oxfordiana superior. Trata-se de um calcário cristalino. Existem vestígios de uma antiga pedreira destes calcários perto da Biscaia na Serra de Sintra.

O negro Mem Martins é um calcário compacto, também pertencente ao Jurássico mas de idade portlandiana. É visível uma antiga exploração destes calcários em Alcorvim de Baixo junto à Malveira.

Na entrada da Capela existem duas esculturas (S. João Baptista e Santa Isabel) de mármore de Carrara.

METODOLOGIA

1ª fase: Identificação dos vários tipos de rochas utilizadas no edifício – Este estudo iniciou-se pela identificação pormenorizada de todos os tipos de rochas utilizadas no edifício.

2ª fase: Localização e estudo histórico dos locais de origem das rochas identificadas – Fez-se um estudo histórico da localização de origem das várias rochas identificadas, tendo como objetivo a coleta de amostras sãs para posterior estudo laboratorial.

3ª fase: Estudo sobre rochas amostradas nas pedreiras – O estudo sobre as rochas coletadas nas diversas pedreiras incidirá sobretudo na sua caracterização petrofísica.

As características físicas a estudar serão a porosidade, a permeabilidade, as propriedades de imbibição ou absorção, a velocidade de propagação de ultra-sons. Serão, ainda, realizados ensaios de envelhecimento acelerado.

4ª fase: Levantamento das principais patologias – Cartografia exaustiva de todos os tipos de patologias visíveis nas rochas identificadas.

5ª fase: Instalação de uma estação meteorológica no Palácio da Bemposta, permitindo quantificar a pluviosidade, o regime de ventos. Instalação de sensores remotos de gases tóxicos (CO, SO₂, NO₂ e NO) e de termohigrógrafos. Com a avaliação destes dados pode ter-se a noção de microclimas (ou nanoclimas) presentes e tentar explicar algumas patologias verificadas. Estes dados são fundamentais para a tomada de medidas de conservação e preservação dos materiais presentes.

Ultrapassadas as quatro fases iniciais do projecto temos que nos debruçar sobre a última fase, não menos importante, com o objetivo de se tentar explicar algumas das patologias observadas.

Assim sendo, foram instalados no interior da capela oito termohigrógrafos. Encontram-se quatro de cada um dos lados do altar e dispostos na vertical dois a dois (um junto ao chão e o respectivo par a quatro metros de altura). Na entrada da capela estão colocados mais dois termohigrógrafos, um de cada lado da porta (junto às esculturas de S. João Baptista e de Santa Isabel), Figura 1.

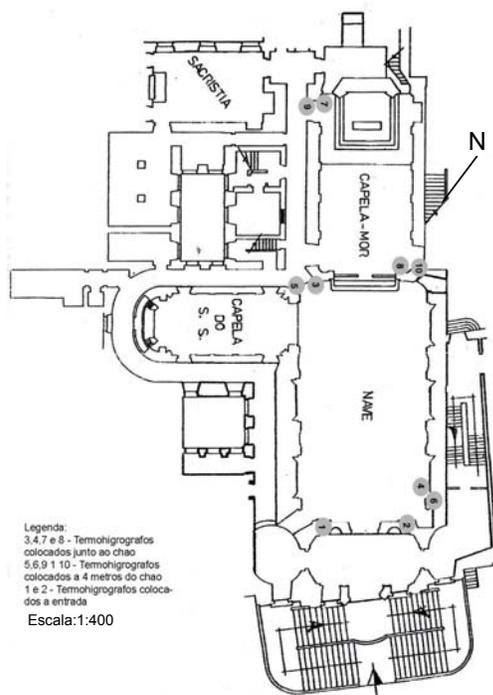


FIGURA 1 – Localização dos termohigrógrafos

No telhado instalou-se a estação meteorológica que permite avaliar a velocidade e direção do vento, a pressão atmosférica, a temperatura e a umidade relativa no exterior. Ligada a esta estação temos ainda, um sensor de temperatura e umidade relativa colocado no coro da capela, e um pluviómetro colocado no varanda.

Na varanda da capela também estão instaladas quatro sondas de gases tóxicos (NO, NO₂, SO₂ e CO) para se averiguar a qualidade do ar.

RESULTADOS

Os resultados obtidos são preliminares e não são conclusivos. No entanto, estão apresentados os resultados obtidos ao longo de 1 (um) dia sob a forma gráfica para os termohigrógrafos instalados na capela e para a estação meteorológica, apenas pelo seu interesse heurístico quanto à metodologia proposta (ver figuras 2 e 3).

⁴ Este tipo de calcário foi usado em algumas igrejas baianas de que se referem a atual Sé de Salvador e a Igreja de Nossa Sr^a da Conceição da Praia na mesma cidade

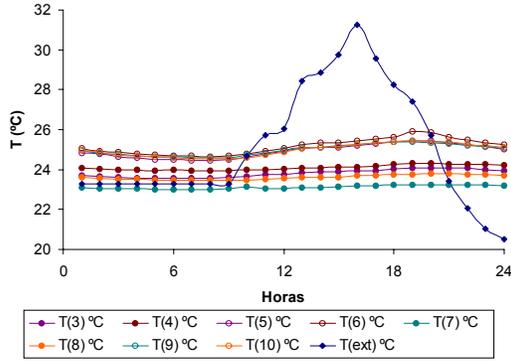


FIGURA 2 – Variação da temperatura ao longo do dia 8 de Agosto de 2001

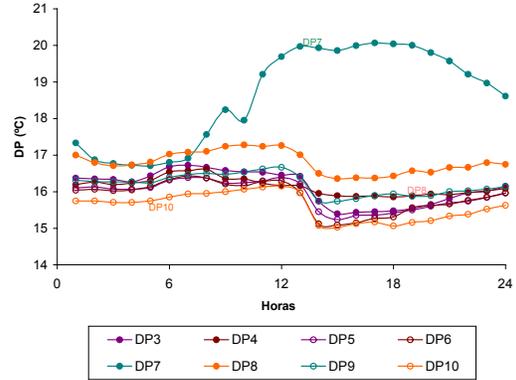


FIGURA 4 – Variação do ponto de orvalho ao longo do dia 8 de Agosto de 2001

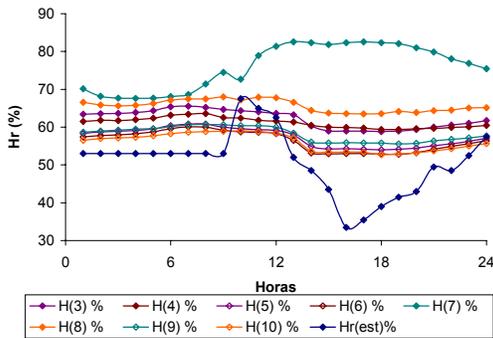


FIGURA 3 – Variação da humidade relativa ao longo do dia 8 de Agosto de 2001

Como seria de esperar são os valores do ponto de orvalho do termohigrógrafo 7 que se apresentam mais elevados.

Relativamente à velocidade e direção do vento os dados obtidos encontram-se nas Figuras 5 e 6.

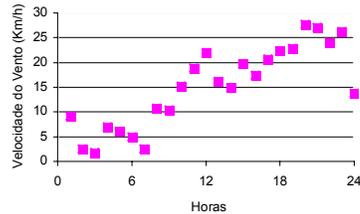


FIGURA 5 – Variação da velocidade do vento ao longo do dia

Analisando as figuras 2 e 3 verifica-se que a temperatura do exterior é superior às temperaturas observadas no interior da capela das 11 horas até às 20 horas (horas de maior incidência do sol) e que a umidade relativa só é superior a alguns pontos do interior da capela entre as 10 e as 12 horas.

Relativamente ao que se passa no interior da capela observa-se que a menor temperatura, a que corresponde uma umidade superior corresponde ao termohigrógrafo 7, isto é àquele que se encontra colocado à esquerda do altar e junto ao chão (está na diagonal da porta de serviço).

Com os valores registados para a temperatura e para a umidade relativa foi possível calcular o ponto de orvalho (Dp=Dew point). (Figura 4). Este parâmetro é muito importante pois representa a temperatura, nesse ambiente, a que se dará a condensação do vapor de água existente.

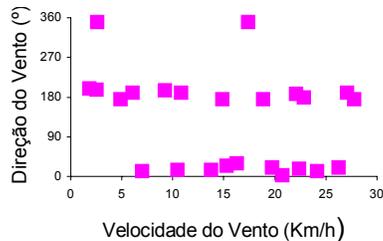


FIGURA 6 – Direção do vento em função da velocidade

Ao analisar a figura 5 verifica-se que a velocidade do vento no dia 8 de Agosto nunca ultrapassou os 30 km/h, e que só ultrapassou ou igualou os 15 Km/h entre as 10 e as 23 horas. Relativamente à direção do vento a variabilidade foi tão grande que não permite tirar qualquer conclusão.

Com o objetivo de se correlacionar as variáveis exteriores (temperatura, umidade relativa, direção e velocidade do vento) com as variáveis internas (temperatura, umidade relativa e ponto de orvalho) utilizou-se a análise de componentes principais, ACP para o termohigrógrafo 7.

A figura 7 representa a projeção no plano definido pelos dois eixos fatoriais da temperatura de exterior (Te), da umidade relativa do exterior (Hre), da velocidade do vento (Vv), da temperatura de interior (Ti), da umidade relativa de interior (Hri) e do ponto de orvalho (Dp).

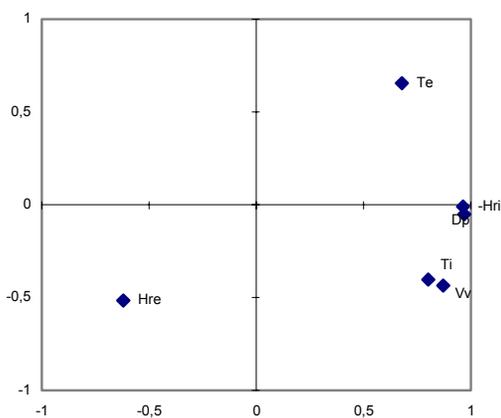


FIGURA 7 – Projeção das variáveis nos eixos 1 e 2

Da análise da figura 7 conclui-se que as variáveis que apresentam uma melhor correlação (muito próximo de 1) são o ponto de orvalho e a umidade relativa do interior. A temperatura de interior e a velocidade do vento também apresentam uma correlação elevada, que pode estar relacionada com o posicionamento do aparelho (zona de corrente de ar).

O eixo 1 opõe Hri, Dp, Ti, Te e Vv à variável Hre, em que a oposição mais notável é entre Te e Hre que estão em quadrantes opostos.

A parte positiva do eixo 2 mostra mais uma vez a oposição existente entre a temperatura de exterior e a umidade relativa do exterior.

Na figura 8 pode-se observar a projeção das amostras (neste caso as horas do dia) nos eixos 1 e 2.

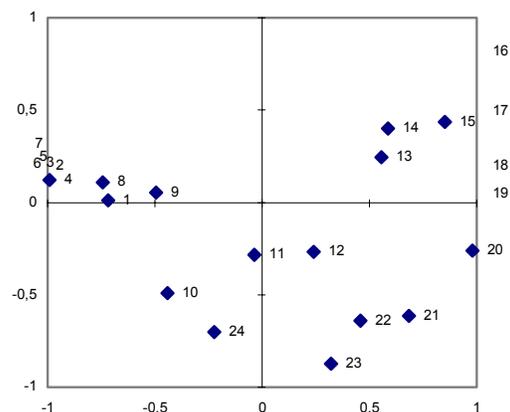


FIGURA 8 – Projeção das amostras nos eixos

A projeção das amostras nos eixos 1 e 2 permite afirmar a existência de duas zonas distintas. Na parte negativa do eixo 1 concentram-se as amostras correspondentes à noite e madrugada (das 2 às 7 horas). Na parte positiva concentram-se as horas da tarde.

A partir do fim da manhã e até ao fim da tarde verificam-se valores elevados para Hri, Dp, Vv e Te contra valores baixos de Hre. Por outro lado, as horas da madrugada correspondem a valores mais elevados de Hre e aos valores mais baixos das outras variáveis.

No eixo 2 verifica-se que nas horas de transição entre os dois intervalos definidos corresponde umidade relativa de exterior mais elevada e a temperaturas de exterior baixas.

CONCLUSÕES

Desta análise pode-se concluir que para o caso apresentado é bem visível a existência de dois grupos de horas distintos que se opõem nos valores da umidade relativa interior, do ponto de orvalho, da temperatura de exterior e da velocidade do vento com a umidade relativa de exterior.

As horas de transição, como foi referido correspondem aos valores de umidade relativa máximos, existindo um pico por volta das 10 horas da manhã. As outras variáveis não sofrem contudo variações assinaláveis.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi realizado com o apoio da Divisão de Planeamento e Programação do Estado Maior do Exército.

CORRELAÇÃO ENTRE CARACTERÍSTICAS PETROGRÁFICAS E PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS DE GRANITOS ORNAMENTAIS: PROPOSIÇÃO DE EQUAÇÕES MATEMÁTICAS

Fabiano Cabañas Navarro¹ e Antonio Carlos Artur²

¹ Curso de Pós-Graduação em Geociências – IGCE-UNESP. Caixa Postal 178 – 13506-900 – Rio Claro - SP

E_mail: navarrofc@bol.com.br

² Deptº de Petrologia e Metalogia – IGCE-UNESP. Caixa Postal 178 – 13506-900 – Rio Claro - SP

RESUMO

As rochas ornamentais apresentam uma gama variada de propriedades tecnológicas cada qual como reflexo de suas características petrográficas (composição, mineralogia, texturas e estruturas). O presente trabalho utiliza técnicas de análise multivariada para a correlação de parâmetros petrográficos e tecnológicos em rochas graníticas brasileiras utilizadas como material de revestimento. São apresentadas 10 equações matemáticas fundamentadas em parâmetros petrográficos, com as quais é possível obter uma previsão das diferentes propriedades tecnológicas analisadas (porosidade aparente, resistência à compressão uniaxial, módulo de ruptura, desgaste abrasivo e coeficiente de dilatação térmica). Tais equações representam uma ferramenta adicional para a previsão das características tecnológicas de granitos ornamentais, constituindo um método rápido e de baixo custo.

INTRODUÇÃO

Ao longo dos últimos anos, as rochas ornamentais têm se firmado como uma opção bastante promissora para o revestimento interno e externo de grandes obras de engenharia. A consolidação deste panorama se deve ao fato desses materiais, quando especificados adequadamente, atingirem boa relação custo-benefício, reunindo características tais como aspecto estético autêntico, boa resistência mecânica e/ou química, requinte e nobreza, além de classicamente ser entendido como símbolo de *status*.

Quando observadas do ponto de vista tecnológico, as rochas devem ser entendidas como um corpo dinâmico com características físicas e químicas definidas. Dessa forma, toda rocha quando utilizada como material de revestimento apresenta uma resposta diferente, em função do ambiente em que estão aplicadas e das condições a que estão sujeitas (poluição atmosférica, esforços fletores em fachadas, desgaste abrasivo em pisos, etc.). Diferentes comportamentos tecnológicos podem ser simulados em laboratório, segundo diversos métodos de ensaios regulamentados por instituições como ABNT (Brasil), ASTM (EUA), DIN (Alemanha) e CEN (Comunidade Européia). Através desses ensaios pode-se reconhecer as propriedades físicas, mecânicas e químicas, além de entender suas relações com as características petrográficas (mineralogia, texturas e estruturas) das rochas analisadas.

A adequada caracterização tecnológica de rochas normalmente requer um grande número de

ensaios, fato que transforma os trabalhos de avaliação da qualidade da rocha em um estudo mais lento e com um custo relativamente mais elevado. Essa realidade é patente no meio empresarial, o que explica uma certa resistência para a total caracterização tecnológica de sua carteira de produtos. Em contrapartida, conforme comentado por Chiodi Filho e Rodrigues (1999) as exigências do mercado internacional apontam cada vez mais para a necessidade do reconhecimento das propriedades da rocha, principalmente para a comercialização nos mercados europeu e americano.

Dessa maneira a busca de índices para prever o comportamento tecnológico de rochas pode contribuir para a caracterização de materiais de revestimento de forma melhor direcionada, proporcionando agilidade e custos mais baixos. De encontro a essa necessidade, a utilização da análise petrográfica pode contribuir significativamente para a previsão do comportamento tecnológico de rochas ornamentais, uma vez que a resposta aos ensaios tecnológicos é o reflexo das características petrográficas do material.

Dentro desse contexto, a proposta deste trabalho, é mostrar como a análise petrográfica pode contribuir para a seleção de materiais rochosos destinados ao revestimento de obras civis. Como resultado do estudo estatístico realizado foram definidas dez equações matemáticas baseadas em parâmetros petrográficos que permitem a previsão do comportamento tecnológico de rochas ornamentais classificadas petrograficamente como granitos.

ÍNDICES DE QUALIDADE E A IMPORTÂNCIA DA PETROGRAFIA

A busca de índices que permitam prever o comportamento tecnológico de rochas é uma problemática cada vez mais estudada, visando sobretudo a redução de custos (Mello Mendes, 1968; e Whittaker *et al.*, 1992). Para o setor de rochas ornamentais os primeiros comentários sobre a influência das características petrográficas no comportamento tecnológico se devem a Rodrigues *et al.* (1996 e 1997) e Navarro (1998). Esses trabalhos tratam da necessidade do estudo petrográfico, como técnica auxiliar para a especificação de granitos como material de revestimento, sendo apresentado um enfoque qualitativo sobre a importância da petrografia para o comportamento tecnológico. Posteriormente, Navarro *et al.* (1999), propuseram três equações para a previsão do desgaste abrasivo e quatro equações para a previsão da resistência à flexão, com base em parâmetros petrográficos. Tugrul e Zarif (1999), ao

estudarem amostras de granitos provenientes da Turquia, apresentaram uma série de gráficos, com as respectivas equações de reta, relacionando características petrográficas e tecnológicas.

A grande importância dos trabalhos acima relacionados foi destacar o uso da petrografia como uma poderosa ferramenta para prever e auxiliar a compreensão do comportamento tecnológico da rocha, pois é o único método que permite o total reconhecimento dos aspectos petrográficos, características essas que orientam as propriedades tecnológicas das rochas. Dessa maneira o estudo dessas variáveis são extremamente importantes para a definição de índices petrográficos para previsão da qualidade tecnológica, sem contudo desqualificar a realização de ensaios.

MATERIAIS UTILIZADOS

Os materiais utilizados neste trabalho compreendem 66 amostras representativas de rochas comercialmente designadas como granitos ornamentais, provenientes dos estados de São Paulo (38 amostras), Espírito Santo (16 amostras) e Bahia (12 amostras). A seleção baseou-se nos catálogos de rochas ornamentais de cada um dos estados mencionados (IPT, 1990, 1993; SGM, 1994). Para facilitar o tratamento dos dados as amostras estudadas foram agrupadas em sete conjuntos litológicos, de acordo com sua classificação petrográfica, a saber:

sienogranitos (C1), monzogranitos (C2), sienogranitos e monzogranitos porfiróides (C3), charnoquitos (C4), ortognaisses (C5), gabróides/dioritóides (C6) e sienitóides (C7).

Todas as lâminas petrográficas analisadas foram obtidas das placas utilizadas para a ilustração dos referidos catálogos. Essa situação garante que as seções estudadas são representativas das amostras utilizadas na execução dos ensaios tecnológicos.

ANÁLISE PETROGRÁFICA E DADOS TECNOLÓGICOS OBTIDOS

Todas as amostras selecionadas foram analisadas e descritas ao microscópio petrográfico, tendo especial atenção a quantificação dos aspectos texturais e estruturais. Foram consideradas a composição modal, a granulação média dos principais minerais, contagem e medição do comprimento dos planos de fraturas com e sem preenchimento, determinação da porcentagem de área alterada e contagem dos tipos de contato, conforme a Tabela 1.

Tabela 1: Dados petrográficos das amostras estudadas. **Legenda:** FK- % de feldspato potássico; grFK- granulação média de feldspato potássico (mm); PL- % de plagioclásio; grPL- granulação média do plagioclásio (mm); Qz- % de quartzo; grQz- granulação média de quartzo (mm); Bt- % de biotita; Alt- % de área alterada; ft- número médio de fraturas sem preenchimento/mm²; cft- comprimento médio da fraturas sem preenchimento (mm); ftp- número médio de fraturas preenchidas/mm²; cftp- comprimento médio da fraturas preenchidas (mm); cpl- número de contatos planos/ mm²; ccc- número de contatos côncavo-convexos/ mm²; cse- número de contatos serrilhados/ mm². Séries: GO amostras de São Paulo, AM amostras do Espírito Santo; MC amostras da Bahia.

| | | parâmetros petrográficos avaliados | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------|----------|------------------------------------|------|------|------|------|------|------|-------|------|---------|------|---------|------|------|------|
| conjuntos | amostras | FK | grFK | PL | grPL | Qz | grQz | Bt | Alt | ft | cft | ftp | cftp | cpl | ccc | cse |
| C1 | GO 4 | 38,7 | 8,0 | 26,5 | 6,0 | 26,9 | 7,0 | 7,9 | 20,00 | 0,45 | 2668,00 | 0,03 | 3058,94 | 0,97 | 0,94 | 1,28 |
| C1 | GO 12 | 37,8 | 5,0 | 25,1 | 3,0 | 31,2 | 3,0 | 5,9 | 23,75 | 2,40 | 375,29 | 0,02 | 771,16 | 0,39 | 0,38 | 0,20 |
| C1 | GO 13 | 39,8 | 6,0 | 29,6 | 3,0 | 28 | 3,0 | 2,6 | 28,21 | 2,25 | 367,65 | 0,01 | 720,14 | 0,54 | 0,55 | 0,14 |
| C1 | GO 15 | 37,7 | 8,0 | 26,5 | 8,0 | 29,3 | 4,0 | 6,5 | 21,93 | 1,47 | 356,21 | 0,38 | 807,01 | 1,39 | 2,04 | 0,16 |
| C1 | GO 16 | 42,3 | 10,0 | 24,5 | 6,0 | 24,2 | 8,0 | 9,0 | 15,67 | 1,69 | 391,63 | 0,34 | 797,31 | 0,69 | 0,88 | 0,15 |
| C1 | GO 23 | 35,2 | 12,0 | 26,2 | 9,0 | 32,9 | 8,0 | 5,7 | 15,71 | 2,53 | 442,35 | 0,23 | 801,02 | 0,33 | 0,30 | 0,11 |
| C1 | GO 24 | 36,1 | 6,0 | 26,1 | 4,0 | 30,5 | 3,0 | 7,3 | 4,18 | 3,20 | 282,38 | 0,76 | 229,85 | 1,51 | 1,07 | 0,12 |
| C1 | GO 25 | 46,8 | 8,0 | 24,6 | 6,0 | 22,8 | 6,0 | 5,8 | 21,30 | 1,68 | 436,70 | 0,27 | 726,65 | 0,75 | 0,53 | 0,04 |
| C1 | GO 26 | 34,4 | 7,0 | 32,4 | 8,0 | 29,8 | 5,0 | 3,4 | 19,55 | 1,71 | 544,98 | 0,07 | 447,74 | 0,70 | 0,71 | 0,06 |
| C1 | GO 27 | 43,0 | 12,0 | 27 | 4,0 | 30 | 6,0 | 0,0 | 43,95 | 1,14 | 489,34 | 0,58 | 551,74 | 0,74 | 0,37 | 0,09 |
| C1 | GO 33 | 45,5 | 6,0 | 27,4 | 5,0 | 27 | 5,0 | 0,0 | 26,06 | 1,35 | 543,82 | 0,45 | 905,37 | 0,43 | 0,37 | 0,11 |
| C1 | GO 36 | 42,8 | 10,0 | 24,4 | 8,0 | 27,8 | 5,0 | 5,0 | 14,19 | 1,89 | 581,51 | 0,17 | 400,94 | 0,39 | 0,25 | 0,10 |
| C1 | AM - 02 | 26,7 | 2,0 | 22,5 | 1,5 | 28,8 | 3,0 | 13,8 | 17,18 | 4,39 | 233,96 | 2,33 | 274,02 | 1,30 | 1,07 | 0,05 |
| C1 | AM - 07 | 32,5 | 4,0 | 20,3 | 3,0 | 28,9 | 2,0 | 13,6 | 10,03 | 3,44 | 389,17 | 1,65 | 582,36 | 0,53 | 0,61 | 0,06 |
| C1 | MC - 18 | 31,5 | 7,0 | 18,7 | 5,0 | 29,6 | 6,0 | 6,0 | 8,81 | 3,00 | 408,13 | 0,25 | 512,35 | 0,66 | 0,67 | 0,11 |
| C2 | GO 8 | 38,4 | 8,0 | 26,4 | 5,0 | 29,4 | 4,0 | 5,6 | 40,14 | 2,02 | 489,88 | 0,00 | 889,62 | 0,28 | 0,38 | 0,31 |
| C2 | GO 9 | 32,2 | 7,0 | 36,2 | 5,0 | 27,8 | 4,0 | 3,8 | 21,26 | 0,00 | 480,68 | 0,00 | 442,80 | 0,28 | 0,35 | 0,23 |
| C2 | GO 10 | 42,3 | 8,0 | 27,3 | 5,0 | 25,8 | 5,0 | 4,6 | 25,41 | 0,00 | 480,91 | 0,00 | 632,99 | 0,30 | 0,31 | 0,14 |
| C2 | GO 11 | 39,9 | 8,0 | 29,2 | 6,0 | 25,1 | 4,0 | 5,8 | 23,35 | 1,98 | 417,85 | 0,12 | 544,36 | 0,35 | 0,43 | 0,13 |
| C2 | GO 17 | 32,8 | 9,0 | 34,0 | 9,0 | 30,0 | 6,0 | 9,0 | 15,34 | 2,02 | 369,21 | 0,06 | 1356,20 | 0,52 | 0,75 | 0,20 |
| C2 | GO 18 | 40,6 | 5,0 | 31,8 | 2,0 | 27,4 | 3,0 | 2,0 | 14,56 | 1,32 | 588,65 | 0,14 | 1201,87 | 0,70 | 0,71 | 0,27 |

Continuação da Tabela 1

| conjuntos | amostras | parâmetros petrográficos avaliados | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------|----------|------------------------------------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|---------|-------|---------|------|-------|------|
| | | FK | grFK | PL | grPL | Qz | grQz | Bt | Alt | ft | cft | ftp | cftp | cpl | ccc | cse |
| C2 | GO 19 | 40,6 | 3,0 | 31,1 | 3,0 | 28,2 | 4,0 | 2,0 | 14,63 | 1,17 | 368,95 | 0,21 | 584,32 | 0,71 | 0,65 | 0,17 |
| C2 | GO 28 | 42,3 | 3,0 | 22,8 | 3,0 | 31,4 | 3,0 | 3,5 | 13,85 | 2,67 | 396,72 | 0,43 | 460,70 | 1,04 | 1,23 | 0,04 |
| C2 | GO 29 | 37,2 | 5,0 | 26,8 | 5,0 | 31,4 | 4,0 | 3,5 | 16,63 | 2,18 | 413,17 | 0,25 | 109,31 | 0,85 | 0,48 | 0,06 |
| C2 | GO 35 | 44,6 | 8,0 | 26,3 | 6,0 | 29,0 | 5,0 | 0,0 | 18,02 | 1,00 | 496,84 | 0,43 | 855,37 | 0,26 | 0,24 | 0,06 |
| C2 | GO 38 | 37,6 | 4,0 | 23,4 | 5,0 | 36,1 | 5,0 | 2,9 | 37,04 | 3,12 | 452,34 | 0,61 | 771,52 | 0,26 | 0,60 | 0,09 |
| C2 | GO 39 | 36,7 | 6,0 | 33,8 | 4,0 | 26,8 | 2,0 | 2,7 | 18,70 | 5,71 | 395,41 | 0,70 | 487,63 | 0,48 | 0,67 | 0,03 |
| C2 | MC - 26 | 23,7 | 1,0 | 36,8 | 3,0 | 30,6 | 2,0 | 8,6 | 18,74 | 2,61 | 324,91 | 0,15 | 419,15 | 0,60 | 1,01 | 0,49 |
| C3 | GO 2 | 32,0 | 17,0 | 27,9 | 10,0 | 30,3 | 6,0 | 8,7 | 5,63 | 1,11 | 486,216 | 0,32 | 354,4 | 0,48 | 0,30 | 0,10 |
| C3 | GO 7 | 34,6 | 15,0 | 26,5 | 3,0 | 27,6 | 1,0 | 16,8 | 15,30 | 1,03 | 737,946 | 0,52 | 568,3 | 0,38 | 0,82 | 0,16 |
| C3 | GO 34 | 46,7 | 8,0 | 22,5 | 5,0 | 27,4 | 3,0 | 24,5 | 15,52 | 1,83 | 430,201 | 0,71 | 555,1 | 0,60 | 0,63 | 0,28 |
| C3 | AM - 11 | 42,6 | 3,0 | 18,9 | 2,0 | 20,3 | 6,0 | 7,8 | 3,42 | 5,10 | 327,154 | 0,49 | 624,0 | 1,31 | 0,98 | 0,09 |
| C3 | MC - 19 | 28,0 | 10,0 | 11,1 | 6,0 | 28,4 | 6,0 | 20,5 | 36,93 | 0,79 | 369,991 | 0,17 | 756,4 | 0,48 | 0,44 | 0,00 |
| C4 | GO 31 | 41,2 | 8,0 | 31,0 | 6,0 | 18,6 | 4,0 | 6,8 | 1,87 | 1,40 | 416,92 | 2,27 | 658,98 | 0,87 | 0,80 | 0,04 |
| C4 | GO 32 | 32,2 | 4,0 | 31,4 | 3,0 | 23,8 | 3,0 | 6,8 | 1,03 | 1,14 | 383,44 | 1,91 | 450,98 | 0,83 | 0,81 | 0,02 |
| C4 | AM - 08 | 35,5 | 8,0 | 19,1 | 3,0 | 26,7 | 3,0 | 4,8 | 1,08 | 3,62 | 429,02 | 3,37 | 803,76 | 0,61 | 0,89 | 0,06 |
| C4 | AM - 09 | 37,1 | 5,0 | 16,6 | 3,0 | 25,2 | 4,0 | 11,1 | 1,20 | 3,54 | 350,47 | 3,58 | 626,28 | 0,80 | 1,09 | 0,08 |
| C4 | MC - 33 | 61,2 | 2,0 | 8,4 | 1,0 | 10,6 | 3,0 | 3,9 | 3,00 | 3,06 | 357,68 | 1,46 | 498,82 | 0,85 | 1,27 | 0,24 |
| C4 | MC - 36 | 44,9 | 2,0 | 11,6 | 1,0 | 30,8 | 1,0 | 3,6 | 6,64 | 5,99 | 261,87 | 2,74 | 431,90 | 1,05 | 1,35 | 0,07 |
| C4 | MC - 38 | 35,6 | 1,0 | 21,4 | 1,5 | 27,5 | 1,0 | 2,8 | 4,76 | 5,07 | 253,84 | 1,71 | 410,54 | 1,17 | 1,70 | 0,02 |
| C5 | GO 1 | 27,0 | 10,0 | 37,5 | 5,0 | 17,3 | 5,0 | 8,2 | 2,10 | 2,99 | 420,64 | 1,52 | 460,87 | 3,20 | 1,90 | 1,60 |
| C5 | GO 5 | 38,5 | 20,0 | 22,4 | 7,0 | 30,4 | 15,0 | 9,0 | 4,36 | 3,02 | 1628,07 | 0,27 | 3175,72 | 8,33 | 10,04 | 3,63 |
| C5 | GO 14 | 43,7 | 2,0 | 33,8 | 2,0 | 20,4 | 3,0 | 2,0 | 5,12 | 5,25 | 156,49 | 2,69 | 280,39 | 0,63 | 1,50 | 0,20 |
| C5 | GO 30 | 43,8 | 7,0 | 16,5 | 5,0 | 29,2 | 6,0 | 10,5 | 10,36 | 3,20 | 486,92 | 0,40 | 515,12 | 0,90 | 0,74 | 0,05 |
| C5 | GO 40 | 34,2 | 2,0 | 31,2 | 2,0 | 19,2 | 10,0 | 12,7 | 7,83 | 14,46 | 126,75 | 3,39 | 114,76 | 2,13 | 2,98 | 0,34 |
| C5 | AM - 01 | 43,8 | 1,0 | 10,8 | 1,5 | 33,0 | 1,0 | 1,2 | 5,04 | 5,28 | 327,09 | 2,93 | 409,45 | 0,96 | 1,37 | 0,03 |
| C5 | AM - 03 | 48,7 | 5,0 | 23,1 | 3,0 | 23,6 | 5,0 | 4,5 | 11,32 | 4,14 | 519,63 | 1,80 | 644,95 | 0,51 | 0,79 | 0,07 |
| C5 | AM - 04 | 34,2 | 2,0 | 22,6 | 3,0 | 23,2 | 3,0 | 12,6 | 19,74 | 4,23 | 424,27 | 1,62 | 859,48 | 0,48 | 0,54 | 0,06 |
| C5 | AM - 05 | 38,9 | 7,0 | 12,4 | 2,0 | 33,0 | 3,0 | 8,7 | 8,73 | 3,79 | 367,98 | 2,47 | 709,74 | 0,60 | 0,68 | 0,03 |
| C5 | AM - 10 | 41,1 | 6,0 | 20,9 | 5,0 | 25,5 | 4,0 | 8,6 | 26,98 | 3,43 | 294,48 | 0,82 | 822,17 | 0,82 | 0,71 | 0,09 |
| C5 | AM - 12 | 32,8 | 2,0 | 24,3 | 1,0 | 32,5 | 3,0 | 6,7 | 3,30 | 3,91 | 314,69 | 0,23 | 517,23 | 1,60 | 2,01 | 0,07 |
| C5 | AM - 20 | 35,0 | 1,0 | 25,0 | 1,5 | 30,0 | 1,5 | 5,0 | 0,97 | 5,44 | 239,56 | 0,13 | 230,98 | 1,42 | 2,06 | 0,08 |
| C5 | AM - 21 | 40,0 | 6,0 | 15,0 | 8,0 | 20,0 | 9,0 | 10,0 | 6,08 | 3,26 | 383,83 | 2,83 | 491,92 | 0,40 | 0,58 | 0,04 |
| C5 | AM - 22 | 35,0 | 5,0 | 35,0 | 2,0 | 20,0 | 4,0 | 5,0 | 3,91 | 3,72 | 340,76 | 0,10 | 468,45 | 0,42 | 0,50 | 0,02 |
| C5 | MC - 01 | 42,6 | 3,0 | 15,5 | 1,0 | 36,8 | 3,0 | 4,6 | 8,74 | 3,58 | 311,48 | 1,55 | 614,48 | 0,81 | 0,98 | 0,01 |
| C5 | MC - 28 | 58,3 | 4,0 | 9,2 | 3,0 | 26,0 | 5,0 | 3,3 | 16,96 | 4,66 | 423,13 | 0,71 | 706,76 | 0,39 | 0,66 | 0,07 |
| C5 | MC - 60 | 62,0 | 1,0 | 5,9 | 0,5 | 25,5 | 1,0 | 0,0 | 7,44 | 4,88 | 274,86 | 1,27 | 560,41 | 2,46 | 2,52 | 0,11 |
| C6 | GO 20 | 0,0 | 0,0 | 51,4 | 2,0 | 0,0 | 0,0 | 11,5 | 7,37 | 5,93 | 269,88 | 0,46 | 249,99 | 1,54 | 0,72 | 0,13 |
| C6 | GO 21 | 37,6 | 2,0 | 30,8 | 2,0 | 8,3 | 2,0 | 23,3 | 5,59 | 2,53 | 57,10 | 0,21 | 31,68 | 2,63 | 1,80 | 0,75 |
| C6 | GO 22 | 30,7 | 1,0 | 33,8 | 3,0 | 2,3 | 0,2 | 28,4 | 23,80 | 2,87 | 71,20 | 0,68 | 65,22 | 7,93 | 7,53 | 3,20 |
| C6 | AM - 13 | 0,0 | 0,0 | 65,0 | 3,5 | 0,0 | 0,0 | 10,0 | 2,73 | 4,94 | 205,28 | 3,67 | 275,12 | 1,15 | 1,21 | 0,23 |
| C6 | AM - 18 | 0,0 | 0,0 | 60,0 | 2,0 | 0,0 | 0,0 | 15,5 | 3,63 | 2,68 | 230,83 | 10,13 | 260,82 | 1,38 | 0,91 | 1,38 |
| C6 | MC - 30 | 30,2 | 4,0 | 68,4 | 6,0 | 1,4 | 1,0 | 0,0 | 33,14 | 3,15 | 325,99 | 1,55 | 694,27 | 0,45 | 0,44 | 0,07 |
| C7 | GO 3 | 57,8 | 7,0 | 0,0 | 0,0 | 33,7 | 6,0 | 2,10 | 1,73 | 3,49 | 2650,23 | 0,19 | 1527,53 | 1,57 | 1,66 | 1,78 |
| C7 | MC - 07 | 49,1 | 3,0 | 9,1 | 1,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 14,43 | 3,62 | 147,73 | 0,00 | 0,00 | 1,72 | 1,30 | 1,53 |
| C7 | MC - 17 | 51,9 | 6,0 | 4,5 | 1,0 | 7,1 | 1,0 | 0,24 | 7,56 | 4,56 | 234,39 | 0,09 | 250,76 | 0,78 | 0,90 | 0,26 |

A análise modal foi obtida pelo estudo de seções delgadas utilizando-se um contador automático. A granulação dos minerais foi medida em lâmina e em amostras de mão. Os tipos de contato foram agrupados em três categorias contatos planos, côncavos-convexos e serrilhados, sendo os resultados expressos em unidade de área (contatos/mm²).

Para a avaliação do microfraturamento e da alteração das rochas estudadas utilizou-se um analisador de imagens. Através desse equipamento foram obtidos valores do número médio de fraturas com e sem preenchimento por unidade de área (fraturas/mm²), bem como o tamanho médio dos planos de microfissura (expresso em μm). Para a mensuração do grau de alteração foram consideradas as superfícies dos feldspatos afetados por processos de sericitização, saussuritização ou caulinizacão, obtendo-se a porcentagem de área alterada para cada rocha. Os demais minerais alteráveis (opacos, micas, anfíbios e piroxênios) por estarem presentes em pequenas quantidades (acessórios ou traços) nas rochas analisadas, foram apenas descritos qualitativamente acerca desse aspecto.

Os dados tecnológicos utilizados neste trabalho foram obtidos por compilação das informações constantes dos catálogos de rochas ornamentais dos estados de São Paulo, Espírito Santo e Bahia (IPT 1990 e 1993; SGM, 1994). Os ensaios selecionados foram: porosidade aparente, resistência à compressão uniaxial simples, módulo de ruptura (resistência à flexão), resistência ao desgaste abrasivo Amsler e coeficiente de dilatação térmica linear.

ANÁLISE ESTATÍSTICA MULTIVARIADA

A análise estatística multivariada é um conjunto de métodos estatísticos que permitem a análise simultânea de um grande número de variáveis, tais como parâmetros petrográficos (mineralogia, texturas e estruturas). O comportamento tecnológico de uma rocha é o reflexo da interação entre esses parâmetros e a maneira como se comportam perante os diversos tipos de solicitações a que possam ser submetidas. Equivale dizer que a resposta da rocha perante a dilatação, porosidade, resistências à compressão e flexão, etc., depende da combinação de um grande número de fatores, que podem explicar ou não grande parte do comportamento da rocha à determinado tipo de solicitação. Isso significa que a somatória de vários fatores podem explicar completamente ou com baixo erro analítico o comportamento de uma rocha.

Pela aplicação dos métodos de estatística multivariada, análise discriminante e análise de regressão múltipla, foram obtidos dois conjuntos de equações matemáticas (A e B) para a previsão do comportamento tecnológico de granitos ornamentais. O conjunto de equações A foi definido através da aplicação da análise de regressão múltipla, utilizando-se todas as variáveis petrográficas e tecnológicas obtidas para os sete conjuntos litológicos estudados.

Para a obtenção do conjunto de equações B, inicialmente aplicou-se a análise discriminante em todo o banco de dados. O resultado apresentado na Figura 1 mostra três agrupamentos nítidos de acordo com a afinidade entre as características petrográficas e tecnológicas das amostras consideradas. Na porção centro-superior do gráfico estão aglutinadas as amostras de composição granítica, representada pelos conjuntos C1, C2, C3, C4 e C5, ao passo que o conjunto C6 (gabróides/dioritóides) ocupam a porção direita do gráfico e o conjunto C7 (sienitóides) a porção esquerda. Essa distribuição indica que os três agrupamentos estão diferenciados uns dos outros por suas características petrográficas e tecnológicas, e portanto devem ser considerados separadamente para a atribuição de equações matemáticas.

Posteriormente foi aplicado a análise de regressão múltipla aos agrupamentos da Figura 1. Os agrupamentos representados por C6 e C7 não puderam ser analisados por esse método devido ao baixo número de amostras em relação ao número de variáveis consideradas, fato que restringe a aplicação desse método. Através da análise de regressão do agrupamento das rochas graníticas foi obtido o conjunto de equações matemáticas B, fornecendo, assim, mais uma equação para cada ensaio tecnológico considerado.

Os conjuntos de equações matemáticas A e B, propostos como ferramenta para a previsão do comportamento tecnológico de granitos ornamentais estão apresentados na Tabela 2.

A análise de regressão múltipla forneceu ainda a porcentagem explicada de cada equação pelas variáveis analisadas (Tabela 3), ou seja, quer dizer que para um determinado ensaio tecnológico considerado as variáveis petrográficas adotadas explicam "X%" do valor calculado através dessa equação.

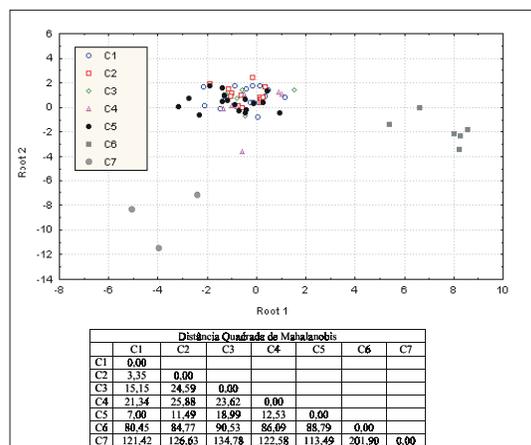


Figura 1: Diagrama de análise discriminante com agrupamentos litológicos por afinidades dos aspectos petrográficos e tecnológicos das amostras analisadas. O quadro com a distância quadrada de Mahalanobis permite a comparação entre as distâncias de afinidade entre cada um dos conjuntos analisados.

Tabela 2: Modelos matemáticos propostos para a previsão dos resultados dos ensaios tecnológicos relativos à porosidade aparente, desgaste abrasivo, resistência à compressão uniaxial, módulo de ruptura e coeficiente de dilatação térmica linear. Modelos obtidos com base nos dados petrográficos de todas amostras (conjunto A) e das amostras de composição granítica (conjunto B). **Legenda:** por- porosidade aparente (%); desg- desgaste abrasivo Amsler (mm); unix- resistência à compressão uniaxial (MPa); rupt - módulo de ruptura (MPa); cdtl- coeficiente de dilatação térmica linear (mm/m°C). Para as variáveis petrográficas, vide legenda da Tabela 2.

| EQUAÇÕES PROPOSTAS | | |
|--------------------|---|--|
| ensaios | conjunto de equações A | conjunto de equações B |
| por | = - 0,436 + 0,0107 FK + 0,0216 grFK + 0,0127 PL - 0,0264 grPL + 0,0111 Qz + 0,0071 grQz + 0,0150 Bt - 0,00152 Alt - 0,0032 ft + 0,000042 cft - 0,0233 ftp - 0,000010 cftp + 0,010 cpl - 0,0160 ccc - 0,087 cse | = - 0,463 + 0,00778 FK + 0,0252 grFK + 0,0195 PL - 0,0304 grPL + 0,0057 Qz + 0,0073 grQz + 0,0146 Bt - 0,00180 Alt - 0,0000 ft + 0,000050 cft - 0,0187 ftp + 0,000150 cftp + 0,099 cpl - 0,026 ccc - 0,418 cse |
| desg | = 1,19 - 0,00762 FK + 0,00421 grFK + 0,00187 PL - 0,0147 grPL - 0,00425 Qz - 0,0047 grQz - 0,00165 Bt - 0,00485 Alt - 0,0102 ft - 0,000055 cft + 0,0469 ftp + 0,000050 cftp + 0,0318 cpl - 0,0699 ccc + 0,066 cse | = 0,982 - 0,00852 FK + 0,00603 grFK + 0,00389 PL - 0,0205 grPL - 0,00137 Qz + 0,0035 grQz + 0,00306 Bt - 0,00714 Alt - 0,0010 ft + 0,000079 cft - 0,0115 ftp + 0,000100 cftp + 0,153 cpl - 0,0742 ccc - 0,317 cse |
| unix | = 176 - 0,268 FK - 0,26 grFK - 0,422 PL + 0,56 grPL - 0,519 Qz - 3,42 grQz + 0,428 Bt + 0,457 Alt + 3,48 ft + 0,0329 cft - 6,66 ftp - 0,0158 cftp + 13,5 cpl - 7,0 ccc - 9,8 cse | = 126 + 0,580 FK - 1,50 grFK - 0,122 PL + 3,98 grPL - 0,235 Qz - 5,55 grQz + 0,907 Bt + 0,925 Alt + 1,81 ft + 0,0120 cft - 2,37 ftp - 0,0200 cftp + 6,6 cpl + 1,0 ccc + 11,3 cse |
| rupt | = 28,0 - 0,165 FK - 0,138 grFK - 0,0817 PL - 0,495 grPL - 0,132 Qz + 0,144 grQz + 0,0863 Bt + 0,0691 Alt - 0,148 ft + 0,00360 cft + 0,278 ftp - 0,00130 cftp - 1,13 cpl + 1,88 ccc - 1,86 cse | = 19,1 - 0,0760 FK - 0,253 grFK - 0,0311 PL - 0,232 grPL - 0,003 Qz + 0,069 grQz + 0,113 Bt + 0,124 Alt - 0,385 ft + 0,00142 cft + 1,31 ftp - 0,00154 cftp - 1,72 cpl + 2,30 ccc + 0,61 cse |
| cdtl | = 0,00824 + 0,000025 FK + 0,000070 grFK - 0,000004 PL - 0,000125 grPL - 0,000001 Qz - 0,000022 grQz + 0,000069 Bt + 0,000005 Alt - 0,000033 ft + 0,000001 cft + 0,000086 ftp - 0,000001 cftp - 0,000218 cpl + 0,000091 ccc + 0,000122 cse | = 0,00201 + 0,000086 FK + 0,000053 grFK + 0,000059 PL - 0,000075 grPL + 0,000049 Qz - 0,000013 grQz + 0,000130 Bt + 0,000013 Alt - 0,000112 ft - 0,000001 cft + 0,000284 ftp + 0,000000 cftp + 0,000397 cpl + 0,000052 ccc - 0,00127 cse |

AVALIAÇÃO DOS MODELOS PROPOSTOS

Visando avaliar as equações propostas, procedeu-se a aplicação das mesmas no banco de dados utilizados na pesquisa. Os resultados estão listados na Tabela 4, a qual apresenta os valores de ensaios da literatura e dos resultados da aplicação dos conjuntos de equações A e B. Pela comparação desses resultados observa-se, de modo geral, que os valores obtidos pela aplicação do conjunto B são mais próximos dos resultados da literatura que os valores conseguidos com as equações do conjunto A, principalmente para os conjuntos litológicos C1, C2, C3 e C4. Para o conjunto C5, os resultados obtidos pelo conjunto de equações B, são mais próximos dos resultados da literatura que os obtidos pelas equações do conjunto A, entretanto não apresentam a mesma aproximação como nos casos anteriores. Para os conjuntos C6 e C7, os resultados obtidos pelas equações dos conjuntos A e B apresentam valores distantes dos resultados de ensaios da literatura.

Tabela 3: Resultado da análise de regressão múltipla para os diferentes agrupamentos assumidos, onde os valores apresentados correspondem à porcentagem da variabilidade dos ensaios tecnológicos explicada pelos parâmetros petrográficos considerados em cada agrupamento.

| PORCENTAGEM EXPLICADA PELAS VARIÁVEIS ANALISADAS | | |
|--|------------------------|------------------------|
| ensaios | conjunto de equações A | conjunto de equações B |
| porosidade aparente | 38,1 | 30,5 |
| desgaste abrasivo | 60,7 | 41,5 |
| resistência à compressão uniaxial | 35,6 | 29,6 |
| módulo de ruptura | 48,2 | 45,9 |
| coeficiente de dilatação térmica linear | 18,6 | 26,6 |

Tabela 4: Comparação entre os dados tecnológicos da literatura e os dados obtidos pela aplicação da equações dos conjuntos A e B. **Legenda:** por- porosidade aparente (%); abs- absorção d'água aparente (%); desg- desgaste abrasivo Amsler (mm); unix- resistência à compressão uniaxial (MPa); rupt- módulo de ruptura (MPa); cdtl- coeficiente de dilatação térmica linear (mm/m°C).

| amostras | dados da literatura (IPT, 1990, 1993 e SGM, 1994) | RESULTADOS CALCULADOS | | | | | | | | | | | | | | |
|----------|---|------------------------|------|-------|------|--------|------------------------|------|--------|-------|--------|------|------|--------|-------|--------|
| | | conjunto de equações A | | | | | Conjunto de equações B | | | | | | | | | |
| | | por | desg | unix | rupt | cdtl | por | desg | unix | rupt | cdtl | por | desg | unix | rupt | cdtl |
| C1 | GO 4 | 0,73 | 0,75 | 139,0 | 16,0 | 0,0075 | 0,62 | 0,69 | 190,22 | 23,09 | 0,0090 | 0,79 | 0,74 | 130,97 | 15,91 | 0,0055 |
| C1 | GO 12 | 0,51 | 0,62 | 148,0 | 14,5 | 0,0082 | 0,59 | 0,65 | 155,53 | 20,00 | 0,0090 | 0,68 | 0,61 | 151,23 | 15,98 | 0,0086 |
| C1 | GO 13 | 0,5 | 0,55 | 150,9 | 15,6 | 0,0073 | 0,62 | 0,63 | 155,47 | 20,67 | 0,0089 | 0,76 | 0,61 | 153,39 | 15,84 | 0,0088 |
| C1 | GO 15 | 0,62 | 0,56 | 152,0 | 14,7 | 0,0109 | 0,53 | 0,54 | 148,64 | 19,75 | 0,0085 | 0,71 | 0,60 | 164,48 | 16,77 | 0,0092 |
| C1 | GO 16 | 1,07 | 0,81 | 125,0 | 13,4 | 0,0102 | 0,70 | 0,62 | 134,71 | 19,30 | 0,0092 | 0,83 | 0,66 | 127,13 | 14,69 | 0,0093 |
| C1 | GO 23 | 0,93 | 0,58 | 147,7 | 16,0 | 0,0081 | 0,63 | 0,62 | 135,22 | 16,84 | 0,0085 | 0,77 | 0,66 | 125,65 | 12,44 | 0,0083 |
| C1 | GO 24 | 0,8 | 0,81 | 140,0 | 12,8 | 0,0096 | 0,62 | 0,73 | 160,74 | 19,23 | 0,0092 | 0,76 | 0,84 | 152,52 | 14,31 | 0,0092 |
| C1 | GO 25 | 0,95 | 0,72 | 138,0 | 13,4 | 0,0107 | 0,65 | 0,58 | 147,96 | 18,57 | 0,0090 | 0,79 | 0,62 | 147,37 | 14,17 | 0,0093 |
| C1 | GO 26 | 0,63 | 0,65 | 149,0 | 14,8 | 0,0096 | 0,55 | 0,60 | 155,00 | 20,05 | 0,0086 | 0,71 | 0,66 | 156,28 | 14,90 | 0,0083 |

Continuação da Tabela 4

| | | dados da literatura (IPT, 1990, 1993 e SGM, 1994) | | | | | RESULTADOS CALCULADOS | | | | | | | | | |
|----------|---------|---|------|-------|-------|--------|------------------------|------|--------|-------|--------|------------------------|------|--------|-------|--------|
| | | | | | | | conjunto de equações A | | | | | Conjunto de equações B | | | | |
| amostras | | por | desg | unix | rupt | cdtl | por | desg | unix | rupt | cdtl | por | desg | unix | rupt | cdtl |
| C1 | GO 27 | 0,69 | 0,56 | 158,7 | 18,8 | 0,0107 | 0,70 | 0,56 | 151,97 | 20,14 | 0,0094 | 0,84 | 0,52 | 147,67 | 16,60 | 0,0093 |
| C1 | GO 33 | 0,33 | 0,38 | 151,5 | 15,5 | 0,0085 | 0,57 | 0,60 | 143,86 | 19,10 | 0,0086 | 0,71 | 0,56 | 144,20 | 15,23 | 0,0086 |
| C1 | GO 36 | 1,14 | 0,57 | 150,1 | 14,7 | 0,0081 | 0,62 | 0,59 | 155,95 | 17,24 | 0,0093 | 0,67 | 0,59 | 154,00 | 12,96 | 0,0085 |
| C1 | AM - 02 | 0,71 | 0,94 | 145,2 | 21,7 | 0,0101 | 0,48 | 0,81 | 161,90 | 24,36 | 0,0095 | 0,63 | 0,83 | 156,67 | 20,86 | 0,0095 |
| C1 | AM - 07 | 0,61 | 1,04 | 125,4 | 17,1 | 0,0089 | 0,54 | 0,78 | 155,99 | 21,63 | 0,0096 | 0,64 | 0,77 | 152,16 | 18,14 | 0,0091 |
| C1 | MC - 18 | 0,46 | 0,77 | 167,2 | 16,9 | 0,0078 | 0,47 | 0,70 | 150,75 | 19,71 | 0,0089 | 0,55 | 0,76 | 130,47 | 14,73 | 0,0076 |
| C2 | GO 8 | 0,79 | 0,44 | 160,0 | 15,3 | 0,0093 | 0,59 | 0,56 | 160,34 | 20,32 | 0,0090 | 0,65 | 0,45 | 163,52 | 17,10 | 0,0086 |
| C2 | GO 9 | 0,49 | 0,64 | 160,0 | 16,7 | 0,0089 | 0,63 | 0,72 | 148,71 | 21,98 | 0,0091 | 0,74 | 0,65 | 145,75 | 16,32 | 0,0083 |
| C2 | GO 10 | 0,81 | 0,65 | 130,4 | 13,2 | 0,0089 | 0,65 | 0,62 | 146,03 | 20,03 | 0,0093 | 0,74 | 0,57 | 145,95 | 15,78 | 0,0089 |
| C2 | GO 11 | 0,58 | 0,65 | 130,0 | 12,2 | 0,0098 | 0,62 | 0,62 | 154,94 | 19,81 | 0,0091 | 0,72 | 0,58 | 157,86 | 15,11 | 0,0088 |
| C2 | GO 17 | 0,69 | 0,77 | 168,1 | 13,3 | 0,0109 | 0,64 | 0,67 | 131,41 | 18,14 | 0,0079 | 0,90 | 0,73 | 132,46 | 13,12 | 0,0088 |
| C2 | GO 18 | 1,07 | 0,75 | 146,3 | 17,4 | 0,0118 | 0,66 | 0,74 | 145,71 | 20,65 | 0,0086 | 0,86 | 0,76 | 131,79 | 14,71 | 0,0085 |
| C2 | GO 19 | 0,40 | 0,51 | 143,6 | 18,1 | 0,0089 | 0,60 | 0,69 | 144,40 | 20,54 | 0,0087 | 0,72 | 0,68 | 141,33 | 15,65 | 0,0087 |
| C2 | GO 28 | 0,90 | 0,68 | 150,0 | 15,0 | 0,0081 | 0,55 | 0,60 | 155,24 | 20,15 | 0,0090 | 0,66 | 0,67 | 155,06 | 16,40 | 0,0089 |
| C2 | GO 29 | 0,36 | 0,59 | 170,5 | 17,5 | 0,0096 | 0,56 | 0,64 | 161,83 | 19,69 | 0,0091 | 0,63 | 0,67 | 158,58 | 15,24 | 0,0085 |
| C2 | GO 35 | 0,57 | 0,51 | 152,1 | 15,9 | 0,0087 | 0,60 | 0,63 | 136,18 | 17,55 | 0,0086 | 0,72 | 0,60 | 134,92 | 13,68 | 0,0085 |
| C2 | GO 38 | 0,92 | 0,65 | 156,0 | 15,0 | 0,0082 | 0,47 | 0,51 | 149,82 | 20,45 | 0,0086 | 0,55 | 0,46 | 157,04 | 18,54 | 0,0084 |
| C2 | GO 39 | 0,94 | 0,68 | 150,9 | 15,3 | 0,0080 | 0,60 | 0,67 | 164,13 | 20,97 | 0,0089 | 0,78 | 0,68 | 160,28 | 14,76 | 0,0084 |
| C2 | MC - 26 | 0,50 | 0,47 | 176,3 | 22,5 | 0,0084 | 0,50 | 0,76 | 163,05 | 24,35 | 0,0088 | 0,56 | 0,65 | 162,93 | 19,14 | 0,0080 |
| C3 | GO 2 | 0,61 | 0,63 | 112,0 | 11,9 | 0,0084 | 0,74 | 0,72 | 144,37 | 16,76 | 0,0094 | 0,86 | 0,77 | 132,73 | 11,25 | 0,0087 |
| C3 | GO 7 | 1,17 | 0,82 | 164,4 | 16,2 | 0,0106 | 0,93 | 0,74 | 166,14 | 22,63 | 0,0111 | 1,05 | 0,78 | 152,89 | 16,72 | 0,0101 |
| C3 | GO 34 | 0,73 | 0,52 | 197,1 | 18,5 | 0,0124 | 0,91 | 0,60 | 161,26 | 19,29 | 0,0108 | 0,91 | 0,59 | 175,17 | 17,05 | 0,0116 |
| C3 | AM - 11 | 0,71 | 0,77 | 101,4 | 14,6 | 0,0075 | 0,54 | 0,70 | 157,89 | 20,15 | 0,0090 | 0,69 | 0,84 | 134,19 | 13,95 | 0,0085 |
| C3 | MC - 19 | 0,64 | 0,53 | 181,5 | 20,5 | 0,0094 | 0,56 | 0,59 | 160,20 | 21,94 | 0,0098 | 0,64 | 0,65 | 156,49 | 19,39 | 0,0094 |
| C4 | GO 31 | 0,81 | 0,81 | 145,0 | 14,00 | 0,0092 | 0,62 | 0,84 | 133,18 | 20,01 | 0,0091 | 0,84 | 0,81 | 135,29 | 15,19 | 0,0095 |
| C4 | GO 32 | 1,26 | 1,01 | 150,2 | 15,20 | 0,0088 | 0,56 | 0,90 | 138,00 | 22,87 | 0,0092 | 0,77 | 0,90 | 131,29 | 17,36 | 0,0090 |
| C4 | AM - 08 | 0,37 | 0,81 | 135,1 | 18,16 | 0,0096 | 0,47 | 0,90 | 130,62 | 20,28 | 0,0092 | 0,63 | 0,80 | 119,86 | 17,32 | 0,0086 |
| C4 | AM - 09 | 0,22 | 0,62 | 130,8 | 20,76 | 0,0088 | 0,47 | 0,86 | 132,04 | 21,27 | 0,0096 | 0,58 | 0,77 | 129,87 | 19,45 | 0,0094 |
| C4 | MC - 33 | 0,10 | 0,35 | 184,1 | 20,73 | 0,0108 | 0,43 | 0,65 | 153,12 | 18,97 | 0,0098 | 0,35 | 0,49 | 154,61 | 16,52 | 0,0086 |
| C4 | MC - 36 | 0,17 | 0,49 | 177,6 | 20,50 | 0,0086 | 0,38 | 0,71 | 154,08 | 19,09 | 0,0093 | 0,42 | 0,63 | 156,15 | 18,13 | 0,0089 |
| C4 | MC - 38 | 0,31 | 0,47 | 197,8 | 15,16 | 0,0118 | 0,37 | 0,75 | 155,90 | 22,02 | 0,0088 | 0,51 | 0,76 | 153,04 | 17,95 | 0,0082 |
| C5 | GO 1 | 0,59 | 0,86 | 164,5 | 11,30 | 0,0085 | 0,52 | 1,02 | 183,95 | 19,92 | 0,0090 | 0,49 | 0,76 | 158,29 | 14,24 | 0,0076 |
| C5 | GO 5 | 0,61 | 0,54 | 119,7 | 19,30 | 0,0078 | 0,59 | 0,54 | 183,56 | 20,55 | 0,0078 | 0,57 | 0,54 | 132,14 | 18,89 | 0,0070 |
| C5 | GO 14 | 1,01 | 0,61 | 125,9 | 20,20 | 0,008 | 0,53 | 0,78 | 134,01 | 22,46 | 0,0091 | 0,62 | 0,59 | 144,60 | 18,55 | 0,0091 |
| C5 | GO 30 | 0,75 | 0,53 | 160,0 | 15,90 | 0,0102 | 0,64 | 0,59 | 155,65 | 18,31 | 0,0095 | 0,71 | 0,70 | 145,37 | 14,50 | 0,0092 |
| C5 | GO 40 | 0,46 | 0,62 | 179,0 | 20,70 | 0,0106 | 0,53 | 0,67 | 160,44 | 25,86 | 0,0092 | 0,71 | 0,74 | 143,98 | 19,87 | 0,0091 |
| C5 | AM - 01 | 0,65 | 0,64 | 137,9 | 21,04 | 0,0084 | 0,31 | 0,71 | 149,37 | 19,13 | 0,0091 | 0,34 | 0,62 | 153,40 | 18,72 | 0,0085 |
| C5 | AM - 03 | 0,75 | 0,76 | 104,9 | 14,63 | 0,0076 | 0,61 | 0,66 | 142,70 | 20,15 | 0,0094 | 0,71 | 0,62 | 138,64 | 16,40 | 0,0091 |
| C5 | AM - 04 | 0,71 | 0,56 | 121,6 | 18,70 | 0,0082 | 0,47 | 0,74 | 158,17 | 22,86 | 0,0092 | 0,63 | 0,72 | 155,71 | 18,83 | 0,0089 |
| C5 | AM - 05 | 0,89 | 0,78 | 93,2 | 13,84 | 0,0111 | 0,54 | 0,77 | 141,23 | 19,14 | 0,0096 | 0,63 | 0,73 | 132,28 | 17,45 | 0,0093 |
| C5 | AM - 10 | 0,97 | 0,76 | 139,5 | 20,98 | 0,0072 | 0,53 | 0,61 | 156,66 | 19,39 | 0,0089 | 0,66 | 0,60 | 161,25 | 16,35 | 0,0092 |
| C5 | AM - 12 | 0,82 | 0,77 | 125,4 | 15,88 | 0,0096 | 0,56 | 0,69 | 156,72 | 22,54 | 0,0089 | 0,75 | 0,90 | 141,21 | 16,75 | 0,0087 |
| C5 | AM - 20 | 0,58 | 1,32 | 136,1 | 14,89 | 0,0070 | 0,50 | 0,66 | 166,36 | 22,05 | 0,0089 | 0,63 | 0,80 | 157,91 | 16,17 | 0,0083 |
| C5 | AM - 21 | 0,51 | 0,81 | 107,8 | 15,20 | 0,0083 | 0,37 | 0,73 | 126,85 | 19,39 | 0,0091 | 0,41 | 0,61 | 127,89 | 17,57 | 0,0085 |
| C5 | AM - 22 | 1,04 | 0,92 | 112,3 | 12,35 | 0,0072 | 0,67 | 0,80 | 149,99 | 22,57 | 0,0090 | 0,87 | 0,87 | 128,46 | 13,79 | 0,0083 |
| C5 | MC - 01 | 0,52 | 0,74 | 147,4 | 16,50 | 0,0096 | 0,54 | 0,68 | 141,27 | 19,04 | 0,0092 | 0,63 | 0,70 | 135,95 | 17,10 | 0,0092 |
| C5 | MC - 28 | 0,60 | 0,55 | 135,8 | 8,12 | 0,0104 | 0,52 | 0,48 | 151,28 | 16,62 | 0,0093 | 0,49 | 0,43 | 151,17 | 14,96 | 0,0088 |
| C5 | MC - 60 | 0,46 | 0,62 | 204,2 | 16,30 | 0,0090 | 0,42 | 0,51 | 169,02 | 16,80 | 0,0091 | 0,49 | 0,60 | 174,98 | 15,69 | 0,0095 |

Continuação da Tabela 4

| amostras | | dados da literatura (IPT, 1990, 1993 e SGM, 1994) | | | | | RESULTADOS CALCULADOS | | | | | | | | | |
|----------|---------|---|------|-------|-------|--------|------------------------|------|--------|-------|--------|------------------------|------|--------|-------|--------|
| | | | | | | | conjunto de equações A | | | | | Conjunto de equações B | | | | |
| | | por | desg | unix | rupt | cdtl | por | desg | unix | rupt | cdtl | por | desg | unix | rupt | cdtl |
| C6 | GO 20 | 0,23 | 1,02 | 255,6 | 26,0 | 0,0094 | 0,30 | 1,17 | 203,25 | 31,98 | 0,0082 | 0,75 | 1,30 | 165,17 | 16,66 | 0,0062 |
| C6 | GO 21 | 0,54 | 0,80 | 210,0 | 25,1 | 0,0101 | 0,68 | 0,82 | 193,94 | 23,50 | 0,0102 | 0,72 | 0,81 | 194,03 | 17,16 | 0,0104 |
| C6 | GO 22 | 0,52 | 0,68 | 170,0 | 17,8 | 0,0093 | 0,33 | 0,75 | 268,56 | 27,07 | 0,0100 | 0,01 | 0,35 | 295,41 | 26,35 | 0,0099 |
| C6 | AM - 13 | 0,16 | 1,14 | 128,9 | 25,71 | 0,0091 | 0,32 | 1,32 | 160,52 | 33,85 | 0,0082 | 0,81 | 1,18 | 152,20 | 21,45 | 0,0074 |
| C6 | AM - 18 | 0,20 | 2,02 | 113,3 | 22,43 | 0,0097 | 0,14 | 1,75 | 131,21 | 34,00 | 0,0095 | 0,26 | 0,83 | 148,06 | 31,70 | 0,0087 |
| C6 | MC - 30 | 0,49 | 1,04 | 147,5 | 15,77 | 0,0073 | 0,60 | 0,89 | 156,44 | 27,76 | 0,0080 | 1,08 | 0,75 | 174,08 | 16,94 | 0,0088 |
| C7 | GO 3 | 0,71 | 0,52 | 211,0 | 21,80 | 0,0124 | 0,56 | 0,55 | 223,33 | 19,34 | 0,0112 | 0,15 | 0,41 | 150,56 | 16,22 | 0,0047 |
| C7 | MC - 07 | 0,1 | 1,02 | 169,2 | 16,64 | 0,0107 | 0,08 | 0,78 | 211,95 | 18,38 | 0,0095 | -0,38 | 0,18 | 204,46 | 15,66 | 0,0053 |
| C7 | MC - 17 | 0,44 | 0,68 | 173,2 | 18,09 | 0,0088 | 0,29 | 0,68 | 181,44 | 18,43 | 0,0096 | 0,18 | 0,52 | 165,35 | 13,47 | 0,0068 |

CONCLUSÃO

O reconhecimento das características petrográficas de uma rocha (mineralogia, texturas e estruturas) só pode ser alcançado através do método da análise petrográfica. De posse de tais informações torna-se possível a previsão do comportamento físico e mecânico de uma rocha sem a execução dos ensaios propriamente ditos. Entretanto para se evitar interpretações errôneas, deve-se dizer que a utilização da petrografia tem um caráter orientativo e preliminar para o reconhecimento das propriedades tecnológicas das rochas, sem implicar na substituição dos ensaios tecnológicos por este método.

Da comparação dos resultados das equações dos conjuntos A e B, com os resultados de ensaios da literatura, conclui-se que o conjunto B é mais indicado para a previsão de propriedades tecnológicas do que o conjunto A.

A aplicação da análise discriminante para as rochas dos conjuntos C6 e C7 mostra que esses grupos devem ser considerados isoladamente no que se refere ao estudo para obtenção de índices de previsão dos parâmetros tecnológicos. Isso se deve ao fato desses conjuntos apresentarem características petrográficas e tecnológicas peculiares, tais como composição mineralógica, texturas, entre outros. Isso também explica os resultados alcançados pela aplicação das equações dos conjuntos A e B, cujos valores são bastante diferentes dos obtidos através de ensaios tecnológicos.

Por esses resultados os autores recomendam a utilização dessas equações apenas em granitos *stricto sensu*, ou seja, amostras cuja composição correspondem aos campos 3a e 3b do diagrama QAP de Streckeisen (1976). Para outros tipos de rochas comercialmente denominadas como granitos, mas que pertençam a outros tipos petrográficos (sienitos, gabros, anortositos, monzodioritos, etc.) deve-se efetuar novos trabalhos de cunho específico.

Essas equações podem ser aplicadas em campanhas prospectivas para novos tipos de rochas,

facilitando e direcionando estudos de caracterização tecnológica e de desenvolvimento da lavra. Outras utilizações podem ser experimentadas, tais como o controle de frentes de lavras onde as variações litológicas são muito intensas; o controle das propriedades tecnológicas em pequenas marmorarias visando a especificação mais adequada do material (e.g. em ambientes muito úmidos ou com alto tráfego), entre outras.

A eficiência de tais equações devem ser testadas com cautela. A meta de trabalho dos autores é a coleta de novas amostras para o teste das equações através da comparação entre os resultados obtidos pela aplicação das equações e os obtidos pela execução de novos ensaios nessas amostras.

Por todas essas possibilidades pode-se dizer que essas equações constituem-se um método rápido e de baixo custo para uma prévia caracterização tecnológica de granitos ornamentais, tipo petrográfico *stricto sensu*, proporcionando relativa segurança para o reconhecimento dessas propriedades, sem entretanto eliminar a necessidade da execução dos ensaios tecnológicos propriamente ditos.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FAPESP (processo nº 00/00762-8), referente ao financiamento do projeto de mestrado do primeiro autor, bem como ao geólogo Dr. Eleno de Paula Rodrigues pelo empréstimo das placas para a confecção das lâminas petrográficas estudadas neste trabalho e ao Prof. Dr. Paulo Milton Barbosa Landim pelo apoio no tratamento estatístico dos dados.

BIBLIOGRAFIA

Chiodi Filho, C. e Rodrigues, E. de P. 1999. Quadro setorial brasileiro das rochas ornamentais e de revestimento. Rev. Rochas de Qualidade. ed. 147 julho/agosto. p: 86-104.

IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. 1990. Catálogo das Rochas Ornamentais do Estado de São Paulo. Coordenado por L.G. Caruso. São Paulo:

- SCTDE/PROMINÉRIO. 122p. il. (Publicação 1820).
- IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 1993. Catálogo das Rochas Ornamentais do Estado do Espírito Santo. Coordenado por E.B. Frazão. - São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas: Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico. 79p. il. (Publicação IPT 2048).
- SGM - Superintendência de Geologia e Recursos Minerais 1994. Catálogo das Rochas Ornamentais da Bahia. Coordenado por H.C.A de Azevedo e P.H. de O Costa. Salvador. 148p. il.
- Mello Mendes, F de 1968. Mecânica das Rochas. Ed. Seção de Folhas da Associação dos Estudantes do Instituto Superior Técnico, Lisboa, Portugal. p 541.
- Navarro, 1998. Granitos ornamentais: análise petrográfica na previsão do comportamento físico e mecânico. II Congr. Uruguayo de Geología. Punta del Leste, Uruguai. p. 103-107.
- Navarro, F.C.; Artur, A.C. E Rodrigues, E. de P. 1999. Modelos matemáticos na previsão do desgaste abrasivo e da resistência à flexão em "granitos" ornamentais, a partir de parâmetros petrográficos. In: VI Simp. de Geologia do Sudeste, São Pedro, SP. p.142.
- Streckeisen, A.1976. To each rock its proper name. Earth. Sci. Rev., 12:1-33.
- Tugrul, A. e Zarif, I. H. 1999. Correlation of mineralogical and textural characteristics with engineering properties of selected granitic rocks from Turkey. Engineering Geology, 51. p:303-317.
- Whittaker B.N.; Singh, R.N. e Sun, G. 1992. Rock Fracture Mechanics – Principles, Design and Applications. Elsevier Science Publisher, Amsterdam. 570p.

PROPOSTA DE METODOLOGIA PARA AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE PRODUTOS QUÍMICOS HIDRO-ÓLEO-REPELENTES UTILIZADOS EM ROCHAS ORNAMENTAIS

Carla Gonzalez Galan¹, Eleno de Paula Rodrigues² e Gilmar Silveira²

¹ UNESP. Av. 24A, 1515 – Bela Vista – Rio Claro - SP

² SENAI-SP. Av. José Odorizzi, 1555 – Bairro Assunção – 09861-000 - São Bernardo do Campo – SP
Fone: (11) 4109-9499 r. 169 - Fax: (11) 4351-6985 - E_mail: eleno@sp.senai.br

RESUMO

O desempenho dos produtos químicos hidro-óleo-repelentes para a proteção de rochas ornamentais depende tanto das propriedades físico-químicas dos produtos, como das características petrográficas e tecnológicas das rochas.

A partir de estudos laboratoriais envolvendo análises químicas, mineralógicas e petrográficas, e ensaios de caracterização tecnológica em rochas silicáticas (granitos) e carbonáticas (mármore), submetidas a tratamentos superficiais com cinco produtos impermeabilizantes, correntemente, utilizados no País, procedeu-se à análise previewal do desempenho destes materiais, simulando-se as condições reais que ocorrem durante a sua utilização (umedecimento, ataque químico, manchamento, abrasão, etc.).

Os resultados obtidos revelaram que os produtos impermeabilizantes compõem-se basicamente de hidrocarbonetos alifáticos e metilsiliconatos de potássio. Tais produtos, quando aplicados em rochas ornamentais, promovem considerável melhoria de performance em diversas situações de uso.

Estabeleceu-se, ainda, uma proposta de metodologia para a avaliação de desempenho do conjunto rocha-impermeabilizante, considerando-se as principais formas e ambientes de utilização.

INTRODUÇÃO

As rochas ornamentais ou de revestimento, utilizadas na forma de placas dimensionadas ou aparelhadas, são consideradas componentes de construção que se destinam ao embelezamento das edificações, além de lhes propiciar funcionalidade. O emprego destes materiais é devidamente orientado pelo conjunto de normas brasileiras, produzidas pela ABNT.

A utilização de materiais rochosos como revestimento esta intimamente ligada às suas características de durabilidade, resistência e coesão, propriedades estas que apresentam tendências naturais à modificação ao longo do tempo, podendo ou não esse processo ser acelerado pelas condições de uso.

Desta forma, é de extrema importância que a escolha de uma rocha seja embasada não somente em aspectos estéticos mas, principalmente, nas suas características tecnológicas. No entanto, mesmo com os cuidados tomados na escolha dos materiais e na

execução do projeto, as características tecnológicas das rochas podem apresentar alterações (patologias), que freqüentemente estão relacionadas com as condições de uso nos diversos ambientes.

Tendo em vista as patologias originadas por infiltrações de água, poluentes dissolvidos em água, e outros produtos naturais ou químicos, além das originadas por desgaste abrasivo (tráfego, limpeza, etc.), procurou-se investigar as características tecnológicas das rochas ornamentais e as metodologias de avaliação do desempenho de produtos químicos impermeabilizantes que têm a função de proteger e valorizar estes materiais.

Os estudos realizados visaram destacar a importância do emprego de metodologias de avaliação do desempenho de produtos químicos impermeabilizantes, considerando-se as relações entre os parâmetros petrográficos e físicos das rochas e o desempenho dos produtos químicos impermeabilizantes.

METODOLOGIA DA PESQUISA

O desenvolvimento dos trabalhos envolveu a caracterização tecnológica das rochas ornamentais em seu estado natural, ou seja, com placas de rocha apresentando uma superfície polida, sem aplicação de qualquer produto que pudesse provocar alteração das suas características físicas, químicas ou estéticas, além da caracterização de corpos-de-prova impermeabilizados, ou seja, com a aplicação de uma película de produtos químicos impermeabilizantes no estado líquido.

Este procedimento permitiu avaliar as mudanças e variações ocorridas nas características físico-químicas e mecânicas das rochas quando da aplicação dos produtos hidro-óleo-repelentes.

Materiais Utilizados

Foram selecionados para esta pesquisa oito tipos de rochas ornamentais, dentre estes cinco "granitos" (ou rochas silicáticas) e três "mármore" (ou rochas carbonáticas), conforme pode ser observado na Tabela 1. Os corpos-de-prova possuem dimensões 10 cm x 10 cm x 2 cm e apenas uma das faces 10x10 cm apresenta-se polida conforme os padrões de comercialização dos materiais como rochas para revestimento.

Tabela 1 Rochas Ornamentais selecionadas para ensaios de caracterização tecnológica.

| Tipos Rochosos | Nome Comercial da Rocha | Padrão Cromático |
|----------------|-------------------------|------------------|
| Silicáticos | Capão Bonito | Vermelho |
| | Branco Cotton | Branco |
| | Preto São Gabriel | Preto |
| | Cinza Andorinha | Cinza |
| | Café Imperial | Marrom |
| Carbonáticos | Travertino | Bege |
| | Bianco Carrara | Branco |
| | Nero Marquina | Preto |

Os produtos impermeabilizantes, aqui denominados hidro-óleo-repelentes, foram selecionados de acordo com a oferta de mercado e com base em informações cedidas por profissionais da área, compondo um conjunto de cinco materiais, conforme pode ser observado na Tabela 2.

Tabela 2 Produtos químicos utilizados para impermeabilização dos corpos-de-prova.

| Produto Impermeabilizante | Especificação (segundo o fabricante) |
|---------------------------|--------------------------------------|
| A | Hidro-óleo-repelente |
| B | Hidro-óleo-repelente |
| C | Hidro-repelente |
| R | Hidro-repelente |
| T | Hidro-óleo-repelente |

Caracterização Tecnológica das Rochas Ornamentais

Os ensaios de caracterização tecnológica das rochas ornamentais estão, sucintamente, descritos a seguir. Alguns destes ensaios possuem normalização para cerâmica, porém foram adaptados e utilizados para as rochas, visto que ambos os produtos são submetidos à mesma forma de utilização, sobretudo em revestimentos de pisos e paredes. Outro conjunto de ensaios que não possui normalização, foi cuidadosamente desenvolvido nesta pesquisa e elaborado para obtenção de resultados seguros e significativos.

A Apreciação Petrográfica das rochas ornamentais foi realizada através de lâminas delgadas, objetivando a obtenção das composições modais e classificação petrográfica das rochas, bem como a análise de suas relações texturais através do microscópio.

A Determinação dos Índices Físicos das rochas ornamentais engloba a avaliação de parâmetros como: massa específica aparente, porosidade aparente e absorção d'água aparente das rochas cujos ensaios foram realizados segundo as normas da ABNT-NBR 12766 (Rochas para Revestimento - Determinação da Massa Específica Aparente, Porosidade Aparente e Absorção D'água Aparente), de outubro de 1992

Os ensaios para Determinação da Resistência ao Manchamento foram realizados segundo as normas da ABNT-NBR 13818 - Anexo G (Determinação da Resistência ao Manchamento) de 1997. Os agentes manchantes utilizados para execução do ensaio foram: óxido de cromo III (verde) em óleo leve e óxido de ferro III (vermelho) em óleo leve (que possui ação penetrante), solução alcoólica de iodo 13 g/L (possui ação oxidante) e óleo de oliva (agente com formação de película).

O ensaio para Determinação da Resistência ao Ataque Químico foi realizado segundo as normas estabelecidas pela ABNT-NBR 13818, 1997 (Placas Cerâmicas Para Revestimento, Especificação e Método de Ensaio) - Anexo H (Determinação da Resistência ao Ataque Químico). Para execução deste ensaio, foram utilizados, como reagentes, produtos químicos semelhantes aos produtos de limpeza domésticos como cloreto de amônio (NH₄Cl) 100g/L; produtos para tratamento de água de piscina, como a solução de hipoclorito de sódio (NaClO) 20 mg/L, ácidos de baixa concentração, como ácido clorídrico (HCl) 3% e o ácido cítrico 100 g/L; e álcalis de baixa concentração, como o hidróxido de potássio (KOH) 30 g/L.

A Determinação do Nível de Lustro foi realizada na superfície polida dos materiais rochosos através do equipamento denominado Gloss Checker, modelo IG 310, Horiba Ltd. Este equipamento avalia o lustro da superfície por comparação a um espelho padrão, acoplado no equipamento, que possui 90 pontos de brilho.

O ensaio de Determinação da Resistência à Abrasão Superficial foi realizado segundo as normas da ABNT-NBR 13818, 1997 - Anexo D (Determinação da Resistência à Abrasão Superficial). Para execução deste ensaio, utilizou-se um equipamento denominado abrasímetro, da marca Gabrielli, modelo W1, pertencente ao Laboratório de Ensaios em Revestimentos Cerâmicos da Escola SENAI Mario Amato.

O ensaio para Determinação da Absorção por Coluna D'água foi realizado segundo o item Q.3.2 (Determinação da Absorção de Água na Superfície dos Blocos de Concreto), da ABNT-NBR 13818 - Anexo Q - Determinação da Resistência ao Impacto, porém com algumas adaptações para corpos-de-prova rochosos. Os intervalos de leitura do nível da água necessitaram de modificações, pois as rochas possuem valores de absorção d'água muito menores que o concreto. As leituras do nível d'água das provetas graduadas foram realizadas nos tempos 0, 12, 24, 36, 48, 60 e 72 horas após o enchimento da proveta.

O ensaio para Determinação da Resistência ao Ataque Fotohidrotérmico foi realizado conforme a norma ASTM G 26 - Standard Practice for Operating Light-Exposure Apparatus (Xenon-Arc Type) With and Without Water for Exposure of Nonmetallic Materials, onde os corpos-de-prova ficaram expostos à luz contínua de uma lâmpada de gás xenônio, de 6.500 W, cujo espectro de emissão é semelhante ao da luz solar do meio dia. A cada 102 minutos, foi pulverizada

água desmineralizada por 18 minutos. A análise dos resultados é realizada visualmente e através do medidor de lustro Gloss Checker, e geralmente feita por comparações entre os materiais ensaiados com diversos tipos de impermeabilizantes e também por medição da Abrasão por Coluna D'água.

Para Avaliação do Grau de Alteração Cromática das rochas ornamentais quando submetidas à saturação com água foi desenvolvida uma metodologia de ensaio que detecta as alterações da cor original da rocha em presença de água, óleo ou qualquer outro líquido, que, porventura permaneça em contato prolongado com a superfície rochosa. Os corpos-de-prova foram submetidos à saturação com água por 24 horas. Este tempo também é utilizado para saturação dos corpos-de-prova que são submetidos ao ensaio de índices físicos (ABNT - NBR 12766). Após saturação, os corpos-de-prova são enxugados com pano e procede-se à comparação da tonalidade de cada material rochoso, com o seu correspondente seco.

Para Avaliação da Resistência a Ciclos de Limpeza das rochas ornamentais, utilizou-se a absorção por coluna d'água como parâmetro de referência. Para a simulação dos ciclos de limpeza, utilizou-se uma escova rotativa acoplada a um dispositivo que a faz girar a 500 rpm. Estes procedimentos tendem a provocar o desgaste abrasivo da superfície das rochas e a conseqüente remoção dos impermeabilizantes nelas aplicados. Os ciclos de limpeza foram realizados em intervalos de 10, 30 e 60 minutos, a uma rotação de 500 ciclos por minuto.

Caracterização Tecnológica dos Produtos Químicos Impermeabilizantes

O ensaio de Determinação de Componentes Orgânicos foi realizado através da Espectrofotometria no Infravermelho e auxiliou na identificação da composição química básica dos produtos utilizados (hidro e óleo-repelentes) para impermeabilização dos corpos-de-prova rochosos. As análises foram realizadas no espectrofotômetro Perkin Elmer 280 pertencente ao Instituto de Química da Universidade de São Paulo - USP.

A Densidade Aparente (ou massa específica aparente) dos produtos químicos impermeabilizantes foi determinada a partir da relação simples entre a massa e o volume de alíquotas dos produtos.

A Determinação da Viscosidade dos produtos químicos impermeabilizantes foi realizada com o intuito de, posteriormente, comparar os valores obtidos com os valores de consumo e densidade de cada produto. Os ensaios foram realizados utilizando-se um equipamento denominado Viscosímetro Brookfield, onde um disco (haste spindle) gira, em velocidade constante e uniforme, mergulhado num fluido. Este equipamento determina a força necessária para o disco vencer a resistência que o material fluido oferece ao movimento rotacional.

A Determinação do pH foi realizada apenas nos produtos impermeabilizantes compostos por

metilsiliconatos de potássio por compreenderem soluções aquosas. Esses materiais foram analisados através de papel indicador universal, no qual a classificação foi efetuada por comparação cromática com o auxílio do padrão.

O ensaio de Absorção D'água Através da Superfície e Evaporação D'água Através da Superfície foram realizados conforme as diretrizes da Norma BS 6477 de 1992 - Water Repellents for Masonry Surfaces, Apêndice F e Apêndice G, respectivamente. A realização destes dois ensaios permitiu determinar a Capacidade de Impermeabilização dos produtos químicos hidro-óleo-repelentes. Para tal, foram utilizados corpos-de-prova de argamassa, pois estes apresentarem valores constantes de absorção d'água, proporcionando, assim, a avaliação do desempenho dos produtos químicos, sem a interferência de outros fatores variáveis, intrínsecos às rochas.

A Determinação do Consumo de produtos impermeabilizantes para os diferentes tipos rochosos estudados foi efetuada através de pesagem dos produtos aplicados, em duas demãos, considerando-se a área de cada corpo-de-prova.

RESULTADOS OBTIDOS

Os principais produtos químicos hidro-repelentes ou hidro-óleo-repelentes, disponíveis no mercado nacional de rochas ornamentais, compõem-se, basicamente, de hidrocarbonetos alifáticos (produtos A, C e T) e metilsiliconatos de potássio (produtos B e R).

Os produtos químicos com base em hidrocarbonetos alifáticos apresentam menores índices de densidade aparente e de viscosidade (Tabela 3), quando comparados aos produtos com base em metilsiliconato de potássio. Tais características lhes conferem um maior rendimento (menor consumo por unidade de área, e maior facilidade na aplicação dos produtos nas superfícies rochosas.

Tabela 3 Densidade e Viscosidade aparente dos produtos químicos impermeabilizantes.

| GRUPO COMPOSICIONAL | PRODUTO IMPERMEABILIZANTE | DENSIDADE APARENTE (g/cm ³) | VISCOSIDADE APARENTE (cps) |
|------------------------------|---------------------------|---|----------------------------|
| HIDROCARBONETO ALIFÁTICO | A | 0,78 | 7 |
| | C | 0,82 | 7 |
| | T | 0,81 | 7 |
| METIL SILICONATO DE POTÁSSIO | B | 1,00 | 10 |
| | R | 1,35 | 34 |

Após a aplicação dos produtos impermeabilizantes em superfícies rochosas polidas, os níveis de lustro são conservados ou mesmo incrementados (Tabela 4), valorizando a beleza natural da rocha ornamental.

Esses produtos, quando aplicados em superfícies rochosas, promovem considerável redução na capacidade de absorção d'água, mantendo, no entanto, a propriedade de permitir a evaporação da água absorvida pelas rochas

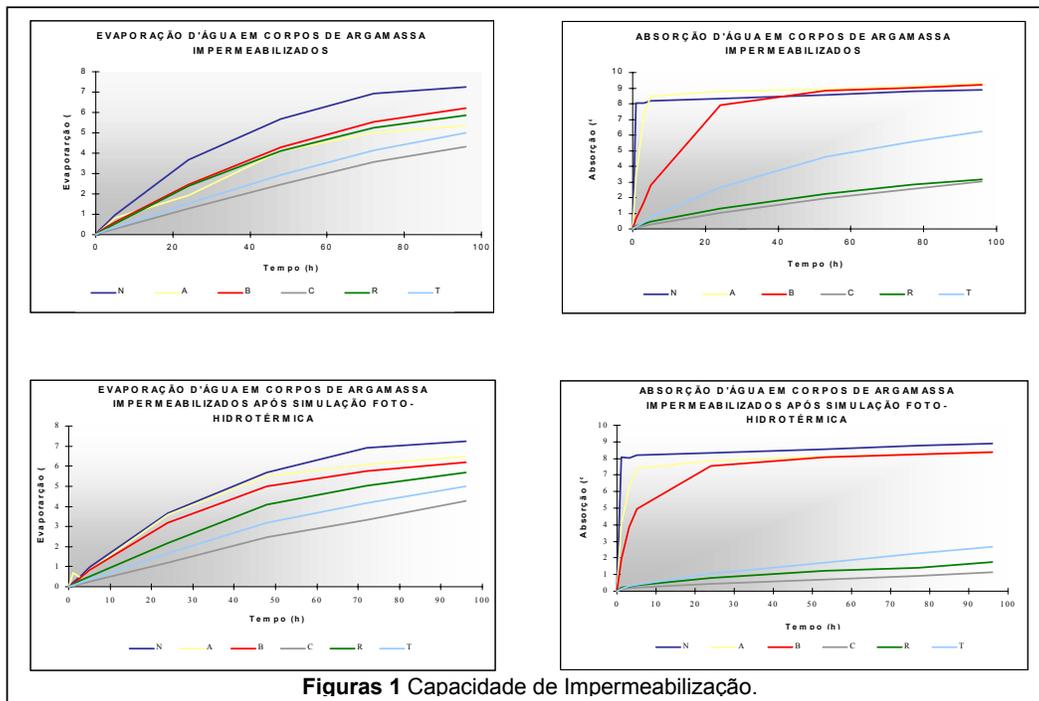
impermeabilizadas. Tais propriedades conservam a mesma característica diante da ação de agentes atmosféricos, conforme demonstrado através de ensaios de simulação fotohidrotérmica, não se dispondo ainda de informações acerca desse comportamento ao longo do tempo. (Ver figuras 1)

Tabela 4 Determinação do nível de lustro das rochas ornamentais.

| Grupo Composicional | Rocha | N | A | B | C | R | T |
|---------------------|-------------------|----|----|----|----|----|----|
| SILICÁTICAS | Preto São Gabriel | 64 | 84 | 82 | 71 | 66 | 76 |
| | Capão Bonito | 73 | 73 | 73 | 78 | 71 | 74 |
| | Café Imperial | 67 | 76 | 78 | 79 | 65 | 72 |
| | Branco Cotton | 70 | 72 | 78 | 71 | 67 | 75 |
| | Cinza Andorinha | 69 | 71 | 76 | 77 | 69 | 71 |
| CARBONÁTICAS | Nero Marquina | 68 | 58 | 62 | 66 | 62 | 72 |
| | Bianco Carrara | 89 | 81 | 82 | 92 | 73 | 90 |
| | Bege Bahia | 47 | 60 | 56 | 58 | 46 | 48 |

As rochas que apresentam índices de absorção d'água mais elevados, e ou revelam forte alteração cromática após serem saturadas com água, são as que mais requerem a aplicação dos produtos impermeabilizantes para sua proteção. Neste trabalho, os produtos com base em de hidrocarboneto alifático (sobretudo os designados C e T), além do metilsiliconato de potássio R, foram os que se mostraram mais eficazes na redução da absorção d'água. O hidrocarboneto alifático C e o metilsiliconato de potássio B foram os mais eficientes na preservação da tonalidade natural das rochas após a saturação, figura 2.

Em todas as rochas estudadas, a película de proteção impermeabilizante resistiu razoavelmente à ação abrasiva a seco (avaliada através do ensaio de abrasão superficial - PEI) e a úmido (avaliada através do ensaio de ciclos de limpeza), (Ver figuras 3 e 4).



Figuras 1 Capacidade de Impermeabilização.

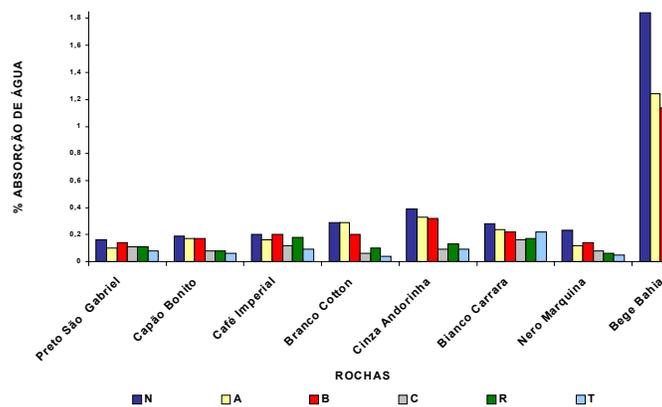


Figura 2 Absorção D'água - Desempenho dos Impermeabilizantes

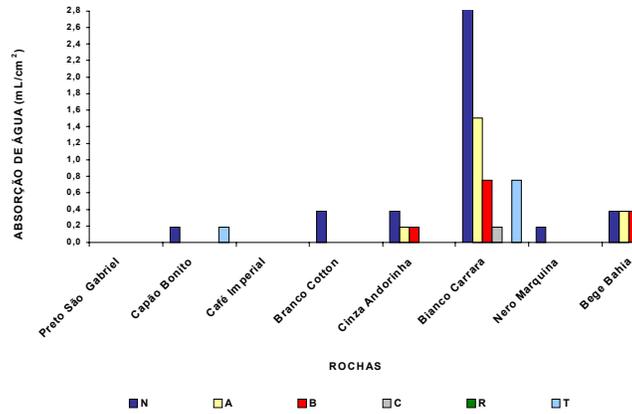


Figura 3 Absorção por Coluna D'água após 150 ciclos PEI - Desempenho dos Impermeabilizantes

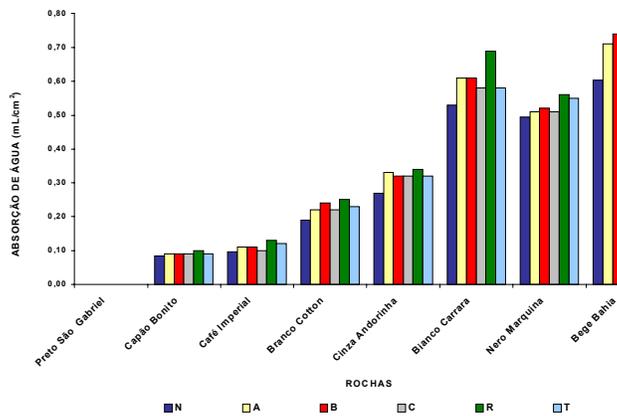


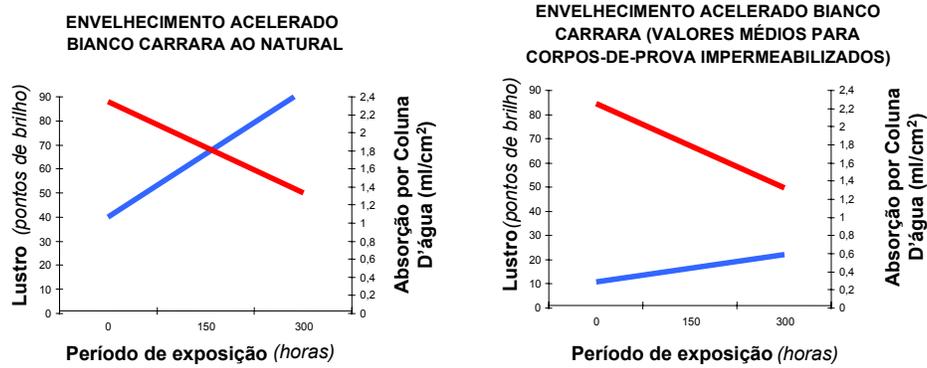
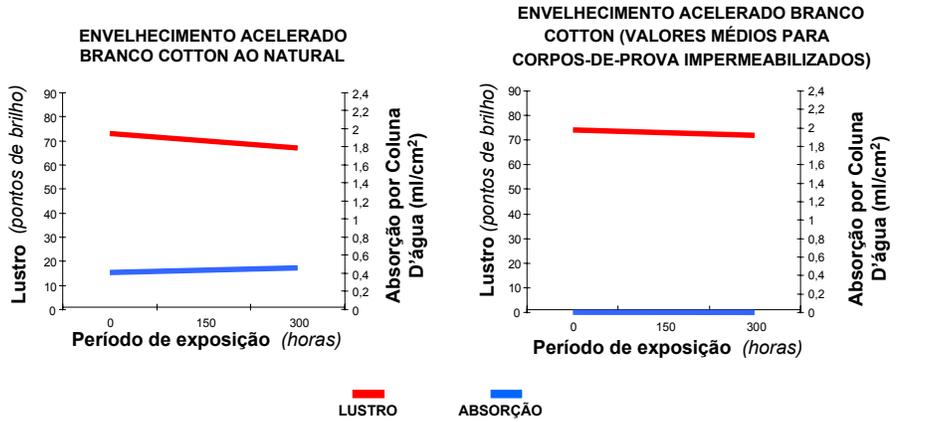
Figura 4 Absorção por Coluna D'água após ciclos de Limpeza - Desempenho dos Impermeabilizantes

Após a exposição ao intemperismo, as películas de proteção impermeabilizantes se mantiveram intactas na rocha silicática e praticamente perderam sua eficácia na rocha carbonática, na qual se notou, inclusive, perda parcial de lustro e aumento da absorção por coluna d'água. (Ver figuras 5)

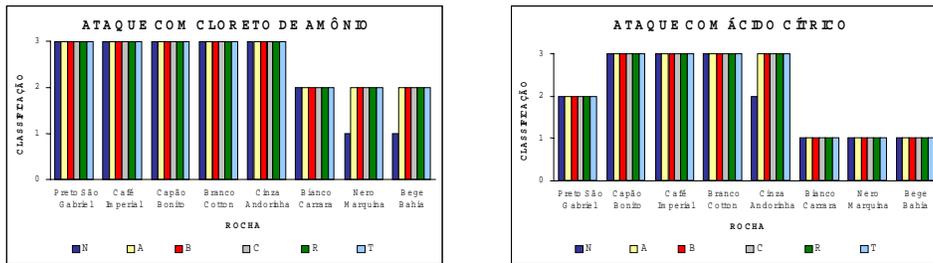
A resistência ao ataque químico por ácidos (clorídrico e cítrico), hidróxido de potássio, hipoclorito de sódio e cloreto de amônia, apresentada pelas rochas (tanto silicáticas como carbonáticas) no estado natural, praticamente não sofreu alteração com a aplicação de qualquer dos produtos químicos impermeabilizantes. Tais produtos não ofereceram nenhuma proteção adicional contra a ação dos produtos químicos utilizados, os quais representam os principais agentes presentes em produtos de limpeza, frutas cítricas, refrigerantes, etc., comumente colocados em contato com as rochas ornamentais durante o uso. (Ver figuras 6)

A resistência ao manchamento diante dos agentes de ação oxidante (iodo), ação penetrante (óxido de cromo e óxido de ferro) ou formadores de película (azeite) obteve significativo aumento em

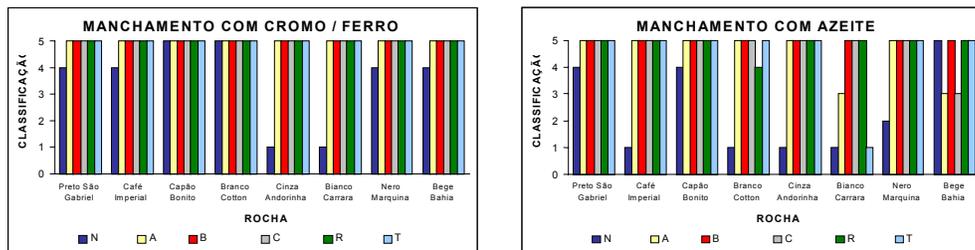
rochas silicáticas e carbonáticas de tonalidades média a escura (exemplificadas nesta pesquisa pelos granitos Café Imperial, Preto São Gabriel, Capão Bonito e Cinza Andorinha; e pelo mármore Nero Marquina), após a aplicação de qualquer dos cinco produtos impermeabilizantes. Para rochas claras (como o granito Branco Cotton e os mármore Bianco Carrara e Bege Bahia), os produtos impermeabilizantes R e C foram os que ofereceram maior proteção contra manchas, sobretudo as de ação oxidante. (Ver figuras 7)



Figuras 5 Resistência ao Ataque Químico - Desempenho dos Impermeabilizantes



Figuras 6 Resistência ao Ataque Químico - Desempenho dos Impermeabilizantes



Figuras 7 Resistência ao Manchamento - Desempenho dos Impermeabilizantes

AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DO CONJUNTO ROCHA-IMPERMEABILIZANTE

Esta proposta de metodologia para avaliação de desempenho do conjunto foi elaborada para a orientação da escolha do produto químico impermeabilizante adequado, que promova a proteção do revestimento rochoso, diante das diferentes solicitações a que a rocha ornamental estará exposta durante o uso.

Primeiramente, procede-se à realização de três ensaios, considerados essenciais, para determinação das principais propriedades tecnológicas dos materiais rochosos utilizados como revestimento, conforme apresentado a seguir:

1. determinação dos índices físicos, segundo as diretrizes da ABNT-NBR 12766;
2. determinação da resistência ao manchamento, segundo as diretrizes da ABNT-NBR 13818 Anexo G;
3. determinação da alteração cromática após saturação com água.

Se a rocha ensaiada apresentar índice de absorção d'água elevado (superior a 0,3 %); ou forte alteração cromática após saturação com água; ou baixa resistência ao manchamento, proceder à aplicação do produto químico impermeabilizante objetivado, em cinco corpos-de-prova 10 cm x 10 cm. Realizar os mesmos ensaios referidos no procedimento anterior (item 1), utilizando os corpos-de-prova impermeabilizados. Se os resultados mostrarem eficácia na ação protetora dos produtos, no que se refere à alteração cromática após saturação com água, resistência ao manchamento e absorção d'água, o conjunto rocha-impermeabilizante será considerado qualificado; caso contrário, inadequado.

Conforme as condições de utilização previstas para o revestimento de rocha ornamental, considerado qualificado pelos procedimentos anteriores, recomendam-se:

- Se as condições de uso previstas incluírem desgaste abrasivo pelo tráfego de pedestres, realizar o ensaio de determinação da resistência à abrasão superficial, conjugado ao ensaio de absorção por coluna d'água e à medição de lustro;
- Se as condições de uso previstas incluírem exposição a agentes atmosféricos, realizar os ensaios: simulação fotohidrotérmica, conjugado ao ensaio de absorção por coluna d'água e determinação da resistência ao ataque químico, utilizando como reagentes as substâncias químicas supostamente presentes na atmosfera do local da obra (ácidos clorídrico, sulfúrico, nítrico, etc.);
- Se as condições de uso previstas incluírem procedimentos de limpeza freqüentes, realizar os ensaios: determinação da resistência a ciclos de limpeza, conjugado aos ensaios de absorção por coluna d'água e determinação da resistência ao ataque

químico, utilizando reagentes supostamente presentes em produtos de limpeza (hipoclorito de sódio, hidróxido de amônia, etc.).

Efetuar a avaliação final e definição sobre a adequabilidade do conjunto rocha-impermeabilizante para as finalidades do revestimento, obedecendo-se aos seguintes parâmetros e limites sugeridos:

- Uso em situações de tráfego abrasivo - se o círculo abrasivo no corpo-de-prova natural não for perceptível; se a absorção por coluna d'água dos corpos-de-prova impermeabilizados for igual ou menor em relação aos corpos-de-prova ao natural; e se não houver redução do nível de lustro da rocha, então o conjunto rocha-impermeabilizante é considerado adequado à utilização prevista;
- Uso em situações de exposição a intempéries - se a absorção por coluna d'água dos corpos-de-prova impermeabilizados for igual ou menor em relação aos corpos-de-prova ao natural; se a alteração visual provocada pelos regentes químicos for nula; e se não houver redução do nível de lustro da rocha, então o conjunto rocha-impermeabilizante é considerado adequado à utilização prevista;
- Uso em situações de limpeza freqüente - se a absorção por coluna d'água dos corpos-de-prova impermeabilizados for igual ou menor em relação aos corpos-de-prova ao natural; se a alteração visual provocada pelos regentes químicos for nula; e se não houver redução do nível de lustro da rocha, então o conjunto rocha impermeabilizante é considerado adequado à utilização prevista.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMERICAM SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM) - 1995 - G 26 - Standard Practice for Operating Light-Exposure Apparatus (Xenon-Arc Type) With and Without Water for Exposure of Nonmetallic Materials
- ABNT (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS) - 1992 - ABNT-NBR 12766 - Rochas para Revestimento - Determinação da Massa Específica Aparente, Porosidade Aparente e Absorção D'água Aparente.
- ABNT (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS) - 1992 - ABNT-NBR 12768 - Rochas para Revestimento - Análise Petrográfica.
- ABNT (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS) - 1997 - ABNT-NBR 13818 - Placas Cerâmicas para Revestimento. Especificação e Método de ensaio - Determinação da Resistência ao Manchamento - Anexo G.
- ABNT (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS) - 1997 - ABNT-NBR 13818 - Placas Cerâmicas para Revestimento.

- Especificação e Método de ensaio -
Determinação da Resistência ao Ataque
Químico - Anexo H.
- ABNT (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS
TÉCNICAS) - 1997 - ABNT-NBR 13818 -
Placas Cerâmicas para Revestimento.
Especificação e Método de ensaio -
Determinação da Resistência à Abrasão
Superficial - Anexo D.
- ABNT (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS
TÉCNICAS) - 1997 - ABNT-NBR 13818 -
Placas Cerâmicas para Revestimento.
Especificação e Método de ensaio -
Determinação da Resistência ao Impacto -
Anexo Q.
- GALAN, C.G. - 2001 - Avaliação do Desempenho de
Produtos Químicos Hidro-óleo-repelentes
Como Fator de Proteção e Valorização de
Rochas Ornamentais. Rio Claro. Dissertação
de Mestrado. Instituto de Geociências e
Ciências Exatas- Universidade Estadual
Paulista (UNESP).

ANÁLISE DE MACIÇOS CRISTALINOS EMPREGANDO O GEO-RADAR (GPR)

Marco Antonio Barsottelli Botelho

Professor adjunto – Centro de Pesquisa e Pós-Graduação em Geofísica e Geologia – Universidade Federal da Bahia. Rua Augusto Viana, s/n – Canela – 40.110-060 - Salvador - BA

RESUMO

A técnica do Radar de Penetração no Solo (GPR) pode ser aplicada em maciços rochosos de origem magmática, passíveis de exploração comercial como rochas ornamentais, com o objetivo de obter informações sobre a distribuição espacial das fraturas e veios. Estas informações sobre as heterogeneidades internas do corpo rochoso provaram ser muito úteis no posicionamento da frente de lavra e na orientação da extração dos blocos de rochas ornamentais com máximo rendimento econômico. As seções de radar com afastamento constante são migradas em profundidade, para em seguida interpretar-se o sistema de fraturas e a porção correspondente ao corpo de rocha contínuo e maciço, que fornece o volume que pode ser explorado economicamente. A determinação espacial dos planos de fraturas bem definidas, bem como sua direção e inclinação, servirá para definir o plano de lavra para extração dos blocos.

INTRODUÇÃO

Na indústria das rochas ornamentais o termo granito designa comercialmente tanto rochas magmáticas como rochas metamórficas, compostas principalmente por silicatos, que permitam a obtenção de blocos padrões e posteriormente a serragem em chapas e, o polimento.

Os corpos de rochas graníticas nem sempre são maciços cristalinos contínuos. Muitas vezes a ação intempélica gera grandes corpos isolados de rocha sã (*boulders*), os quais são separados entre si por rochas alteradas pelos agentes atmosféricos ou mesmo por camadas de solo. Seja qual for o caso, a avaliação do volume de rocha sã que pode ser explotada segundo o procedimento clássico tão bem detalhado no trabalho de Bradley e Musetti (1996), pode ser feita com segurança, a partir dos dados do levantamento da área com GPR (*Ground Penetrating Radar*).

O emprego de GPR para detectar fraturas em corpos de rochas magmáticas já tem registro na literatura desde o início desta década (vide os trabalhos de Siggins, 1990; Friedel et al., 1991 e, ainda, o de Tillar e Sylvier, 1994). Entretanto, a aplicação do GPR para estudar corpos rochosos com o objetivo de auxiliar no processo de lavra somente surgiu nos meados desta década, como pode ser visto nos trabalhos de Dubois (1995) aplicados ao estudo de depósitos calcáreos; no de Serzu et al (1996), que integra levantamentos de superfície com levantamentos interpoços, e ainda, no trabalho de Grasmueck (1996) que emprega levantamentos 3-D para imagear fraturas em gnaisses.

No Brasil, existe o trabalho de Botelho et al (1996) que emprega o GPR para detectar cavernas e estruturas de dissolução no Calcário Caatinga, extraído como rocha ornamental com o nome fantasia “Mármore Travertino”, no Município de Ourorândia (BA); o trabalho de Botelho e Araújo (1996), que emprega o GPR para detectar fraturas em corpos graníticos e gnáissicos no Município de Baixa Grande (BA); o trabalho de Botelho e Mufti (1998) que aplicou a migração reversa no tempo em dados de radar registrados sobre corpos de rochas calcáreas e, finalmente o trabalho de Botelho et al (1999) que avalia a economicidade de jazidas localizadas nos estados da Bahia e Ceará, ilustrando com estudos de casos onde há intenso fraturamento o que torna a lavra inviável e, onde as fraturas não prejudicam o aproveitamento econômico.

A PESQUISA

O levantamento dos dados de GPR foi realizado no maciço de nome “Guariba”, localizado a 40km da cidade de Itaberaba estado da Bahia, no limite com o Município de Rui Barbosa.

O levantamento foi realizado com antenas de 200 e 400 MHz, efetuando-se a leitura de cada traço, ou scan, a intervalo de 3cm. Os traços foram registrados com um número de 512 ns amostras, com um tempo máximo de registro de 7,0 ns para a antena de 400 MHz e de 200 ns para a antena de 200 MHz.

Foram levantados dezesseis (16) perfis empregando a antena de 400 MHz, sendo treze (13) na direção E-W e três (03) na direção N-S. Os radargramas obtidos com a antena de 400 MHz investigaram até uma profundidade de 5,0m e a antena de 200 MHz investigou até 13,0 metros de profundidade.

Um procedimento clássico para investigar um maciço rochoso inclui inicialmente um levantamento topográfico de toda área, para que se possa estabelecer uma malha retangular ou quadrada, sobre a qual serão levantados todos os perfis de GPR. Recomenda-se que o levantamento com GPR inicie usando antenas de 100 MHz, com objetivo de investigar as macrofraturas de alívio, comuns nos maciços graníticos do nordeste do Brasil, as quais podem apresentar uma espessura média de 5 cm, podendo ser detectadas até uma profundidade de aproximadamente 30 m. As antenas de 200 MHz servem para investigar fraturas médias (1 cm de abertura), podendo-se investigar até uma profundidade média de 15 m. Finalmente, a antena de 400 MHz irá investigar o fraturamento mais fechado (abertura inferior a 0,5 cm), entretanto, a profundidade máxima de investigação está em torno

de 8 m. Vale esclarecer que as condições intempéricas da parte superficial do maciço rochoso, bem como, a possível cobertura eluvionar ditam a profundidade de investigação em função da condutividade destes materiais intemperizados. Quanto maior for a condutividade elétrica menor será a profundidade de investigação, em função da atenuação do pulso eletromagnético. Vide Davis & Annan (1989).

RESULTADOS

Na pesquisa do maciço de Guariba foi utilizada antenas de 200 e 400 MHz, sendo que nesta etapa inicial investigamos todo o maciço com a antena de 400 MHz o que nos garantiu uma análise completa das condições de fraturamento até a profundidade de 7,5m.

Os radargramas gerados com a antena de 400 MHz revelaram um grande plano de fratura na porção S-W do maciço, apresentando um mergulho de 5° na direção S. O qual se estende por 32m na direção N-S (ver figura 01, em anexo) e 20m na direção E-W (ver figura 02, em anexo). Os dois radargramas apresentados nas figuras 1 e 2, em anexo, ilustram o comportamento do citado plano de fratura ao longo das direções N-S e E-W. Podemos ver que ele tem uma área restrita na porção S-W da área, e ainda que o fraturamento vai fechando no sentido de W para E e no sentido de N para S.

A segunda etapa da pesquisa foi o levantamento com a antena de 200 MHz objetivando investigar maiores profundidades. O emprego da antena de 200 MHz permitiu investigar até a profundidade de 14,5 metros onde pode-se observar que há outros planos de fraturas inclinados (ver figura 3, em anexo), os quais chegam a atingir a profundidade de 14,0m. Vale ressaltar que há porções no maciço que fornecem um pacote de rocha com 6,0m de espessura que são passíveis de serem exploradas na extração de blocos como rocha ornamental. Considerando aspectos topográficos e de acesso um plano de fratura como o mostrado na figura 3 pode muito bem funcionar como um plano de indicação na lavra para extração dos blocos, evitando assim o perigoso fogo sem orientação.

BIBLIOGRAFIA

- Botelho, M.A.B., e Araújo, F.F., 1996, Emprego do radar para detecção de fraturas em corpos graníticos, Anais do XXXIX Congresso Brasileiro de Geologia, V.2, 391-393.
- Botelho, M.A.B., e Araújo, F.F.S., e Vicente, H.F., 1996, Detecção de cavernas e estruturas de dissolução em rochas carbonáticas usando radar (GPR), Anais do XXXIX Congresso Brasileiro de Geologia, v.2, 388-390.
- Botelho, M.A.B., and Mufti, I.R., 1998, Exploitation of limestone quarries in Brazil with depth migrated ground-penetrating radar data, 68th S.E.G. Annual Meeting, New Orleans, Louisiana, v.2, p.898-903.
- Botelho, M.A.B., Cerqueira Neto, J.X., e Aranha, P., 1999, Estudos sobre a Economicidade de Jazidas de Rochas Ornamentais empregando o Geo-Radar (GPR), VI CIBSGf, SBF 241, 4 pags.
- Bradley, F., and Musetti, C., 1996, Analysis of the Business Management of a Stone Company – Part I, Rivista MarmoMacchine International, 13/96, 78-110.
- Dubois, J.C., 1995, Borehole radar experiment in limestone: Analysis and data processing, First Break, 13, nº 02, 57-67.
- Friedel, M.J., Jessop, J.A., and Rhill, R.E., 1991, Igneous rock mass fracture delineation using common offset radar reflection, 61st Annual Internat. Mtg., Soc. Expl. Geophys., Expanded Abstracts, 504-506.
- Grasmueck, M., 1996, 3-D ground-penetrating radar applied to fracture imaging in gneiss, geophysics, 61, nº 04, 1050-1064.
- Serzu, M., Street, P., Lodha, G. and Stevens, K., 1996, Characterization of a moderately fracture granitic rock using single-hole radar reflection, cross-hole radar tomography, and ground-penetrating radar at AECL's underground research laboratory, Pinawa, Manitoba, 66th, Annual Internat. Mtg., Soc. Exp. Geophys., Expanded Abstracts, 912-915.
- Siggins, A.F., 1990, A radar investigation of fracture in a granite outcrop, Expl. Geophys., 21, nº ½, 105-110.
- Tillard, S., 1994, Radar experiments in isotropic and anisotropic geological formations (granite and schists), geophys. Prosp., 42, nº 06, 615-636.

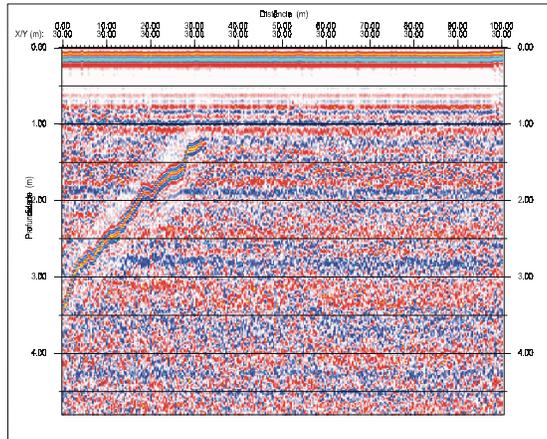


Figura 1: Radargrama com afastamento constante levantado com a antena de 400 Mhz na direção S - N. Observe o grande plano de fratura que se estende por 32m ao longo do levantamento mergulhando para S.

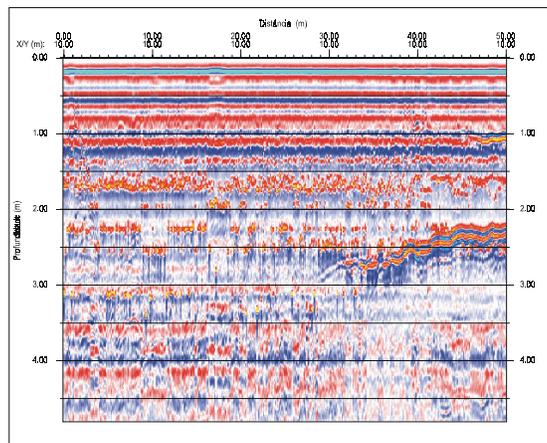


Figura 2: Radargrama levantado na direção E-W com antena de 400 MHz cruzando o radargrama da figura 1 na posição de 10m. Observe o fechamento

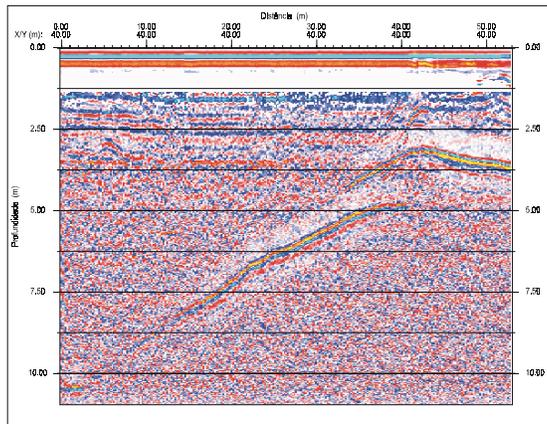


Figura 3: Radargrama com afastamento constante levantado empregando a antena de 200 Mhz, na direção E-W, perpendicular ao radargrama da figura 1. Podemos observar um grande plano de fratura que divide a área em duas partes: a porção E acima do plano de fratura e a porção W abaixo deste ambas as partes estão aparentemente livre de fratura. Entretanto, a porção superior (0 e 2,5 m) apresenta hipérbole de difração indicativas de fraturamento restrito e subvertical, as quais revelam uma velocidade de propagação de 0,12 m/ns, o que torna possível converter o radargrama de tempo para profundidade.

ESTUDO DO ELEMENTO ABRASIVO DO FIO DIAMANTADO NA LAVRA DE GRANITOS DO ESTADO DO CEARÁ¹

Francisco W. Hollanda Vidal

Eng^o de Minas, DSc. Centro de Tecnologia Mineral – CETEM/MCT
ABIROCHAS – Rua Barão de Studart, 2360 – sala 406 – Bairro Aldeota – 60.120-002 – Fortaleza-CE
Fone: (85)246-2600 Fax: (85)246-0262 E_mail: abirochas@secrel.com.br

RESUMO

O presente trabalho apresenta o estudo em laboratório dos elementos abrasivos de fios diamantados, fabricados no mercado estrangeiro, visando avaliar a qualidade dos mesmos nos granitos do Ceará.

O tema escolhido está inserido no cenário atual do setor de rochas ornamentais do País na região Nordeste, principalmente no Estado do Ceará, pois a abordagem do assunto é importante sobretudo para pedreiras de granitos que carecem de tecnologia adequada para lavra de maciços rochosos.

Na Itália, em particular a região da Sardenha, a mineração de granito e, principalmente, os estudos de lavra em pedreiras é caracterizado por elevados parâmetros econômicos e produtivos, que colocam o País numa vanguarda do mundo por volume comercial e ocupação em desenvolvimento tecnológico. A tecnologia avançada de fio diamantado é utilizada a cerca de quase 10 anos em diversas pedreiras da região da Sardenha, onde já foi responsável por 10 % da produção mundial, no início da década de 90.

Para ampliar o conhecimento sobre o tema, fez-se uma análise das bibliografias nacionais e internacionais disponíveis sobre o assunto. Realizou-se conjuntamente com o levantamento bibliográfico, visitas às pedreiras em atividade produtiva no Ceará, a fim de estabelecer-se parâmetros entre as técnicas recomendadas nas bibliografias consultadas com aquelas, normalmente, utilizadas na lavra de granitos.

Parte da pesquisa em laboratório foi realizada na Universidade de Cagliari, Itália, principalmente, no tocante a avaliação dos elementos abrasivos do fio diamantado, para utilização na etapa de lavra.

O estudo compreendeu basicamente a coleta, preparação e caracterização dos granitos selecionados, realização dos ensaios de laboratório e cálculo das variáveis operacionais e análise dos resultados.

Os resultados com as amostras de granitos estudadas mostraram a viabilidade técnica do uso do fio diamantado, em pedreiras do Ceará, onde foram obtidos níveis satisfatórios de velocidade de corte e consumo das pérolas diamantadas.

Em função dos resultados obtidos com os quatro granito estudados (Asa Branca, Rosa Iracema, Red Symphony e Casa Blanca), destaca-se o granito Asa Branca conhecido também com o nome Branco Ceará, que permitiu parâmetros operacionais satisfatórios compatível com materiais do mesmo tipo comercial. Neste, identificou-se fio diamantado adequado para rocha em questão onde obteve-se parâmetros de velocidade de corte e consumo dos anéis de pérolas diamantadas compatíveis com o percentual de quartzo do material.

INTRODUÇÃO

As rochas ornamentais, também designadas pedras naturais e/ou rochas dimensionadas, abrangem diversos tipos litológicos que podem ser extraídos em blocos e beneficiados em formas variadas, onde seus principais campos de aplicação incluem, principalmente, lápides e arte funerária em geral e edificações, destacando-se, nesse caso, revestimentos internos e externos de paredes, pisos, colunas, entre outras. Em geral, as rochas ornamentais, são divididas comercialmente em dois grandes grupos: “mármore e granitos” e que não são os termos geológicos corretos. Utilizando o termo mármore são comercializadas todas as rochas carbonatadas e, com o termo granito as rochas silicatadas.

A evolução mundial da indústria extrativa das rochas ornamentais, através dos séculos, começou na Itália, no ano de 80 A.C. A mudança dos métodos de extração de blocos, foi iniciada com explosivos século XVI. No início do século XX, a Itália passou a usar o fio helicoidal como tecnologia de lavra para o corte dos blocos de mármore. A partir de 1977 foi introduzida na região de Carrara, na Itália, a tecnologia do cortador à corrente diamantada e do fio diamantado. No espaço de 10 anos registrou-se uma rápida evolução, e no final da década de 80 foi introduzida a tecnologia do fio diamantado para granitos, na região da Sardenha, Itália [1-2].

As atividades de mineração envolvem não somente as etapas de lavra mas, também, a pesquisa mineral a partir do conhecimento geológico dos depósitos, onde o objetivo principal é associar a característica da jazida com o plano de aproveitamento econômico. O conhecimento prévio das características de uma determinada formação rochosa representa condição indispensável para uma correta escolha da metodologia e tecnologia de lavra. Estudos realizados confirmam a relação existente entre os resultados produtivos da lavra (rendimento, dimensão e forma dos blocos) e as características

¹ Este trabalho foi extraído da tese de Doutorado do Auto, apresentado à USP sob a orientação do Prof. Antônio Stellin Júnior

mínero-petrográficas (tipo e distribuição das fraturas e imperfeições dos blocos), e sugerem utilizar um controle estatístico dos dados, confirmando, assim, a necessidade de embasar a etapa de lavra sobre um conhecimento suficientemente aprofundado dos condicionantes geológicos e tecnológicos da jazida. [3 – 4 – 5 - 6].

Os métodos de lavra definem a seqüência espacial e temporal de acordo com as quais a jazida será subdividida em volumes projetados e organizados que seguem uma ordem funcional de extração. A metodologia de lavra das rochas ornamentais, na maioria dos casos, são descendentes seja nas pedreiras a céu aberto, seja naquelas em subterrâneo, desenvolvendo-se através da instalação de praças contendo uma ou mais bancadas. A melhor escolha do método de lavra a ser definido, é função da morfologia dos afloramentos, da reserva mineral, do plano estrutural da jazida e do estado de fraturamento e tensões do maciço rochoso. [7–8–9–10– 11].

Dentre as tecnologias avançadas de lavra, para mármore e granitos no maciço rochoso, destacam-se as que usam elementos diamantados que têm permitido melhor qualidade final do produto. Outro reflexo positivo da aplicação dessa tecnologia de lavra é a diminuição da intensidade no nível de ruído, vibração e poeira além da redução dos impactos ambientais, gerados na área de influência funcional das pedreiras, uma vez que diminui sensivelmente a formação de rejeitos. A tecnologia de corte com fio diamantado é largamente difundida na Itália para lavra de rochas ornamentais em maciço, com grande predominância para os mármore. Atualmente, o fio diamantado representa a solução consagrada para as rochas carbonatadas (mármore). Por outro lado, para as rochas silicatadas (granitos) sua utilização não ocorre tão facilmente, devido, dentre outros fatores, o alto grau de abrasividade desses tipos de materiais. [12 – 13].

As técnicas atualmente empregadas no Brasil para extração de rochas do tipo graníticas mostram-se, de certa forma, rudimentares, levando a uma perda considerável que, nos casos mais desfavoráveis, atinge até 80% do volume bruto, seja pela efetiva danificação da frente de lavra, seja pelos defeitos de forma e irregularidades das faces do bloco, com uma correspondente perda de valor econômico tanto maior quanto mais valioso for o material. Vale salientar que a introdução indiscriminada de técnicas de lavra como por exemplo, o uso de cordel detonante, “flame-jet” sem estudo prévio da jazida, estão acarretando no Brasil, danos gravíssimos aos produtores que em alguns casos já tiveram o comprometimento completo da pedreira. A tecnologia de fio diamantado evita o surgimento de fraturas provocadas pelo uso de explosivos, muito comum nos granitos sensíveis aos efeitos de detonação, porém não evita as fraturas provocadas por tensões de alívio. Neste caso, é muito comum se verificar problemas de fraturamento na jazida com muito maior intensidade, devido a influência do estado de tensões do maciço.

As tecnologias baseadas no uso de elementos diamantados assumiram num passado recente amplo

uso no caso das rochas carbonatadas, com o aparecimento do fio diamantado em substituição ao fio helicoidal. O fio diamantado é constituído por um cabo de aço que funciona como suporte para as pérolas diamantadas, separadas ao longo do cabo por molas metálicas, no caso dos mármore, ou então por material plástico ou borracha para o caso dos granitos. Estudos da tecnologia de corte com fio diamantado para os granitos da Sardenha, Italia foram realizados visando o emprego integral na lavra, particularmente na melhoria dos utensílios diamantados e revestimento protetor do fio. Foi estudado por vários anos o desgaste dos elementos diamantados em diferentes granitos, levando em consideração a experiência de campo e ensaios de laboratório. [12-14-15-16-17-18-19].

Para se implantar a tecnologia de fio diamantado são necessários, inicialmente estudos geológicos visando conhecer as características da jazida. Escolhida a tecnologia de fio diamantado como sendo a melhor opção, o passo seguinte é estudar o comportamento da rocha em contato com o elemento abrasivo diamantado do fio (anel de pérolas diamantadas), para posteriormente indicar o fio mais adequado ao aproveitamento técnico-econômico da pedreira. Observa-se que o estudo da rocha com o fio diamantado para ser realizado na frente de lavra da pedreira, requer a utilização de pelo menos 50 metros de fio diamantado a um custo médio de US\$ 200 por metro o que equivale a um total de US\$ 10.000 (dez mil dólares) além do custo de equipamentos, insumos e mobilização do pessoal operacional de produção. Dessa forma estudos de laboratório foram realizados em equipamentos protótipos com seus respectivos aparatos necessários para um perfeito funcionamento.

A máquina para os ensaios em escala de laboratório foi construída em 1990 e adaptada por diversos pesquisadores do Departamento de Geoengenharia e Tecnologia Ambiental da Universidade de Cagliari, Em 1996 pesquisadores italianos aperfeiçoaram as máquinas desenvolvidas, no período de 1989 a 1995, para os ensaios em escala de laboratório, estudando os diversos granitos da região da Sardenha, Itália. Esta nova máquina com concepção mais inovadora no controle das variáveis operacionais com o objetivo de efetuar medições em rochas representativas de pedreiras, possui como corpo-de-prova amostra em forma de um disco que permite submeter a pérola diamantada a diferentes solicitações, simulando as condições operacionais de uma máquina industrial. [20].

MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho apresenta a partir do conhecimento das características físicas, químicas e mecânicas de granitos de pedreiras em atividade de produção no Ceará, o estudo do elemento abrasivo do fio diamantado para lavra. [21].

A pesquisa foi realizada com objetivo de avaliar a qualidade dos elementos abrasivos, anéis de pérolas diamantadas que constitui os fios diamantados de alguns fabricantes, nos diferentes tipos de granitos do Ceará. O estudo experimental foi

realizado utilizando uma máquina protótipo pertencente ao laboratório do Departamento Di Geoingenieria e Technologie Ambientali - DIGITA na Universidade de Cagliari, Itália e compreendeu as etapas: Visita técnica as pedreiras de granitos; Coleta das amostras nas pedreiras; Preparação dos corpos de prova; Caracterização tecnológica das amostras de granitos e análise de anéis de pérolas de fios diamantados; Realização dos ensaios de laboratório utilizando os anéis de pérolas diamantadas (elemento abrasivo) provenientes do fio diamantado; Cálculo das variáveis operacionais, balanços de massa dos ensaios e outros parâmetros tais como velocidade de corte e consumo das pérolas. Na programação da pesquisa foram visitadas várias pedreiras de granito em atividades de produção, das quais foram selecionadas 4 (quatro) diferentes tipos litológicos de granitos do Ceará, a saber: Asa Branca, Rosa Iracema, Red Symphony e Casa Blanca. A seguir serão descritas as pesquisas realizadas.

Caracterização Tecnológica dos Granitos

A informação mais importante da análise minero-petrográfica consiste no conhecimento dos dados qualitativos e quantitativos dos minerais componentes da rocha, observando dessa forma o estado de alteração do material. A caracterização petrográfica e mineralógica das amostras foi realizada com o objetivo de identificar os litotipos e quantificar os minerais presentes nos mesmos, além de observar suas alterações. Estes estudos foram realizados em microscópio ótico polarizante, do tipo LEITZ-LABORLUX 12", utilizando secções delgadas.

A caracterização tecnológica das amostras foi realizada através dos ensaios tecnológicos normalizados segundo as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas- ABNT.

Ensaio de Laboratório

Foi realizada a pesquisa em laboratório, com finalidade de efetuar medições em amostras de rochas, em forma de um disco com 30 cm de diâmetro por 4 cm de espessura que permite submeter o anel de pérolas diamantadas a diferentes solicitações periódicas. A figura 1 mostra uma ilustração esquemática da máquina III de ensaio de desgaste da pérola do fio diamantado. O disco de rocha é inserido em um eixo coligado a um motor elétrico por transmissão de correia e polia em V, com velocidade de rotação regulável eletronicamente para um valor constante de velocidade relativa entre a pérola e a rocha, dentro de um campo de trabalho do fio diamantado (de 20 a 40 m/s). Uma pérola diamantada é colocada em contato contra a superfície periférica do disco de rocha. A pérola pode girar lentamente ao redor do seu próprio eixo de modo a consumir uniformemente [12-18-20].

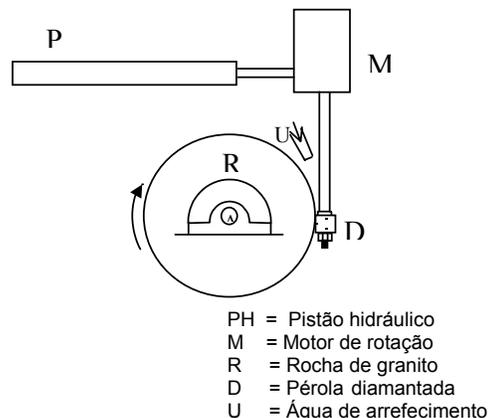


FIGURA 1 - ILUSTRAÇÃO ESQUEMÁTICA DA MÁQUINA III DE ENSAIO

Fonte: CICCUC *et al.* (20)

Para realização dos ensaios, com o objetivo de identificar o tipo de fio diamantado adequado para cada granito, foi necessário apenas 1% do total utilizado nas pedreiras de granito, geralmente, em torno de 50 m para fazer o corte de bancada na frente de lavra. Os ensaios experimentais com as amostras de granitos do Ceará de nomes comerciais Asa Branca, Rosa Iracema, Red Symphony e Casa Blanca foram realizados e concluídos na Universidade de Cagliari. Nos laboratórios do NUTEC, foi efetuado um estudo de caracterização dos anéis de pérolas diamantadas em amostras de fios diamantados, através de estereomicroscópio OLYMPUS SZ-BR, visando quantificar o número de diamantes por anel. As amostras provenientes dos dois fabricantes, possuem números de anéis com espaçadores variáveis.

Com o objetivo de identificar o tipo de pérola de melhor desempenho para um determinado granito, foram programados ensaios experimentais na Universidade de Cagliari, Itália, sob a orientação de pesquisadores italianos, em amostras representativas dos granitos do Ceará, de nomes comerciais Asa Branca, Rosa Iracema, Red Symphony e Casa Blanca. Com os referidos ensaios deverão ser obtidos também os parâmetros necessários para realização de corte na pedreira em escala industrial. As pedreiras dos granitos Rosa Iracema e Casa Blanca são exploradas pelo grupo GRANOS/IMARF; enquanto que as pedreiras dos granitos Asa Branca (Branco Ceará) e Red Symphony são exploradas pelas Empresas Granistone e CIGRAMA, respectivamente.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A tabela 1 apresenta os resultados de análise química dos granitos estudados. Esses resultados mostram que os teores de SiO_2 e Al_2O_3 nas amostras dos granitos Asa Branca, Rosa Iracema e Casa Blanca são aproximadamente iguais, enquanto que os teores de Na_2 e K_2O são diferentes entre si.

TABELA 1 - ANÁLISE QUÍMICA DOS GRANITOS

| COMPOSIÇÃO QUÍMICA | NOME COMERCIAL E TEOR (%) | | | |
|--------------------------------|---------------------------|--------------|--------------|-------------|
| | ASA BRANCA | ROSA IRACEMA | RED SYMPHONY | CASA BLANCA |
| SiO ₂ | 74,70 | 73,98 | 70,33 | 73,51 |
| TiO ₂ | 0,03 | 0,05 | 0,17 | 0,01 |
| Al ₂ O ₃ | 15,31 | 15,24 | 17,18 | 15,72 |
| Fe ₂ O ₃ | 0,85 | 0,71 | 0,71 | 0,47 |
| FeO | - | - | - | - |
| MnO | 0,04 | 0,01 | 0,04 | 0,03 |
| MgO | 0,10 | 0,05 | 0,43 | 0,03 |
| CaO | 0,65 | 0,62 | 1,41 | 0,33 |
| Na ₂ O | 4,18 | 3,47 | 4,14 | 5,47 |
| K ₂ O | 2,77 | 5,10 | 4,04 | 3,80 |
| P ₂ O ₅ | 0,02 | 0,01 | 0,07 | 0,01 |
| Outros | 1,35 | 0,77 | 1,48 | 0,62 |

Fonte: DIGITA - Universidade de Cagliari

O granito Asa Branca, macroscopicamente, apresenta coloração branca leitosa com alguns pontos escuros dispersos, representados por agregados de biotitas. Apresenta granulação de média a grosseira, uma textura granular seriada, representada por cristais de quartzo subarredondados e com formas prismáticas com bordos arredondados, dispersos numa matriz feldspática contendo mica branca, exibindo característica de aplito-granítico. Microscopicamente, a rocha exibe textura granular-hipidiomórfica, composta essencialmente por K-feldspato, plagioclásio, quartzo e micas. Apresenta cristais de quartzo desenvolvidos, denotando um crescimento magmático tardio.

O granito Rosa Iracema, macroscopicamente, apresenta estrutura maciça-homogênea/irregular, com concentrações de minerais félsicos (creme rosados) e máficos (negros), granulação grosseira, com predominância de cristais em torno de 3 a 10 mm de comprimento, muito embora haja cristais de feldspato potássico (KF) com comprimento superior a 2 cm. Observam-se manchas esbranquiçadas (caulinização dos feldspatos) e manchas amarelo-avermelhadas junto às biotitas (oxidação). Ao microscópio a rocha apresenta textura granular-hipidiomórfica, variando para granular-xenomórfica, constituída essencialmente de K-feldspato, plagioclásio, quartzo e biotita.

O granito Red Symphony macroscopicamente, apresenta coloração cinza rosada e avermelhada, representada por matizes e concentrações escuras patenteadas por minerais félsicos constituindo uma textura granular grosseira. Observam-se também pequenos bolsões de coloração rosada. O K-feldspato geralmente são rosados, enquanto os plagioclásios e quartzo são de coloração branca/hialinos e estão associados aos K-feldspato e mica. Localmente, observa-se certa orientação e processo de oxidação nas biotitas, com a presença de minerais de ferro (magnetita) parcialmente oxidados. Microscopicamente, a rocha foi definida como ígnea-plutônica, com textura granular-hipidiomórfica-grosseira variando, para textura

granular-cataclástica-grosseira, composta essencialmente por K-feldspato, plagioclásio, quartzo e mica.

O granito Casa Blanca, macroscopicamente, apresenta coloração branca com matizes acinzentados-hialinos e negros (minerais máficos distribuídos irregularmente), estrutura maciça-homogênea/irregular-seriada, granulação média grosseira, com predomínio de cristais em torno de 0,1 a 0,2 cm, embora alguns cristais alcancem tamanhos entre 1,0 e 2,0 cm. Apresenta as vezes, junto às muscovitas agregados micáceos biotíticos. Microscopicamente, a rocha apresenta textura granular-xenomórfica/seriada (inequigranular), localmente granular-hipidiomórfica/seriada, constituída essencialmente de K-feldspato, plagioclásio, quartzo e muscovita.

A caracterização mineralógica das amostras foi realizada com objetivo de qualificar e quantificar os minerais. Na tabela 2 estão apresentados os resultados da composição mineralógica dos granitos analisados com seus respectivos tipos petrográficos. Os resultados mostram que a percentagem de quartzo na amostra do granito Asa Branca é superior aos demais. Os resultados petrográficos mostram que todas as amostras estudadas são granitos com tipos litológicos variados.

Os ensaios de caracterização tecnológicas das amostras foram realizados de acordo com as normas brasileiras (NBR), com exceção às análises de dureza (Knoop e Mohs) que foram feitas de acordo com as normas italianas (UNI).

A tabela 3 apresenta os resultados da caracterização tecnológica dos granitos, através dos índices físicos, compressão, flexão, impacto, desgaste Amsler e dureza Knoop, entre outros. Os resultados obtidos dos índices físicos de porosidade e absorção d'água com o granito Asa Branca estão acima dos valores fixados pela norma. O resultado do ensaio de resistência à compressão do granito Casa Blanca está bem abaixo do limite mínimo fixado pela norma. No caso do granito Casa Blanca, isto pode ser atribuído ao sentido de corte realizado na lavra para obter o melhor desenho estético da chapa. Por se tratar de um material que possui extensa foliação de muscovita o corte das bancadas na lavra não poderá ser realizado no sentido perpendicular à direção de foliação das micas, pois diminui sensivelmente a resistência mecânica do material.

TABELA 2 - ANÁLISE PETROGRÁFICA E MINERALÓGICA

| NOME COMERCIAL | COMPOSIÇÃO DA ROCHA | APROX. % | TIPO PETROGRÁFICO DO GRANITO |
|----------------|--|----------------------|------------------------------|
| Rosa Iracema | Feldspatos Quartzo Biotita Acessórios | 65 29 05 01 | Sienogranito |
| Asa Branca | Feldspatos Quartzo Micas Acessórios | 57 30 12 01 | Albita-Granito |
| Casa Blanca | Feldspatos Quartzo Muscovita Acessórios | 67 23 06 04 | Monzogranito |
| Red Symphony | Feldspatos Quartzo Micas Acessórios | 52 22 22 04 | Monzogranito Tectonizado |

Fonte: NUTEC-Fundação Núcleo de Tecnologia Industrial/IPT- Instituto de Pesquisas Tecnológicas

TABELA 3 - CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DOS GRANITOS

| Ensaio | Nome Comercial | | | |
|------------|----------------|------------|-------------|--------------|
| | Rosa Iracema | Asa Branca | Casa Blanca | Red Symphony |
| ME (g/cm³) | 2,611 | 2,607 | 2,496 | 2,670 |
| PA (%) | 0,82 | 1,19 | 0,36 | 0,37 |
| AA (%) | 0,31 | 0,46 | 0,15 | 0,24 |
| CP (Mpa) | 145,00 | 107,00 | 85,40 | 207,00 |
| FX (Mpa) | 13,29 | 16,70 | 11,90 | 14,00 |
| IP (cm) | 66,00 | 60,00 | 67,50 | 60,00 |
| DA (mm) | 0,61 | 0,65 | 0,87 | 0,69 |
| DK (Mpa) | 7,250 | 6,920 | 5,940 | 5,514 |
| DM (Hm) | 6,10 | 5,69 | 5,91 | 5,51 |

Fonte: NUTEC-Fundação Núcleo de Tecnologia Industrial
DIGITA-Universidade de Cagliari
IPT-Instituto de Pesquisas Tecnológicas

Legenda: ME = Massa específica; PA = Porosidade aparente; AA = Absorção d'água; CP = Compressão; FX = Flexão; IP = Impacto; DA = Desgaste Amsler; DK = Dureza Knoop; DM = Dureza Mohs média.

A tabela 4 apresenta os resultados de análise dos anéis de pérolas realizados em diferentes fios diamantados fabricados no mercado internacional. Estes resultados mostram em alguns casos a ausência de pontos de diamantes e em outros diferenças acentuadas no número de diamantes em anéis de pérola de um mesmo fio diamantado. Os resultados indicam, em duas amostras de um mesmo fio diamantado, diferença entre uma e outra de até 62 diamantes por anel.

TABELA 4 - ANÁLISE DE ANÉIS DE PÉROLAS DE FIOS DIAMANTADOS

| AMOSTRA DE FIO DIAMANTADO | Nº DE ANÉIS ANALISADOS | Nº DE DIAMANTES POR ANEL* |
|---------------------------|------------------------|---------------------------|
| 1 (usado) | 9 | 197 |
| 2 (usado) | 5 | 124,2 |
| 3 (novo) | 10 | 71,1 |
| 4 (novo) | 3 | 99,6 |
| 5 (novo) | 2 | - |
| 6 (novo) | 2 | 68 |
| 7 (usado) | 2 | 81,5 |
| 8 (novo) | 1 | 15 |

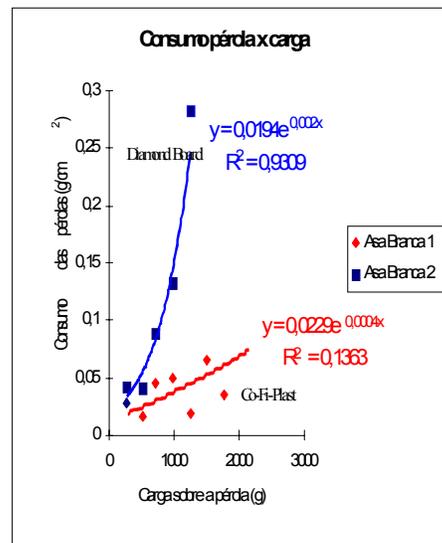
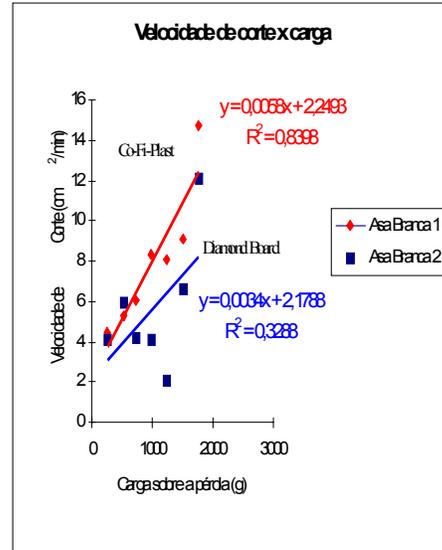
Fonte: NUTEC-Fundação Núcleo de Tecnologia Industrial

Legenda : (*) – Valores médios

OBS.: A amostra de fio nº 5 não possibilitou a análise

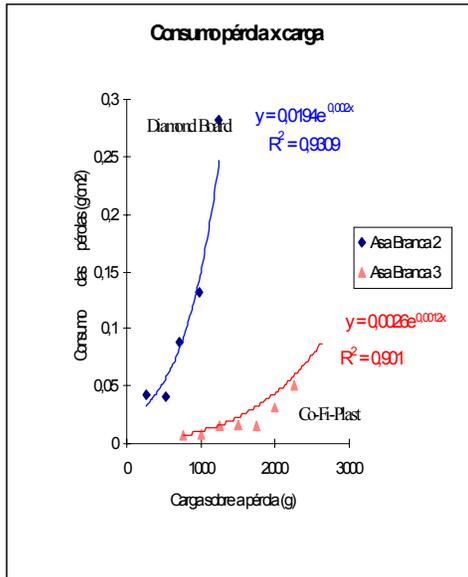
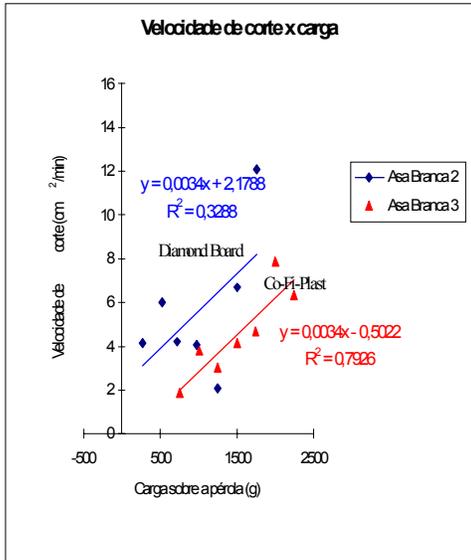
As figuras 2 e 3 mostram as comparações dos resultados obtidos com o Granito Asa Branca utilizando as pérolas diamantadas de marca “co-fi-plast” e “diamond board”. Nestas figuras pode-se observar que o granito Asa Branca tem um melhor rendimento com o fio diamantado de fabricação “co-fi-plast”.

As figuras 4 mostram o comportamento de cada granito levando em consideração a velocidade de corte e consumo de pérolas em relação ao teor de quartzo e à dureza da amostra.

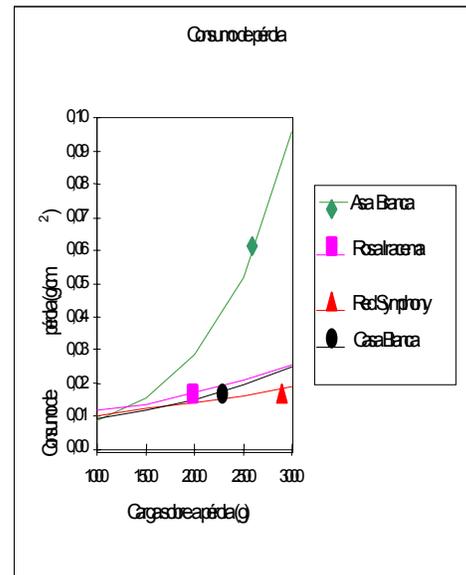
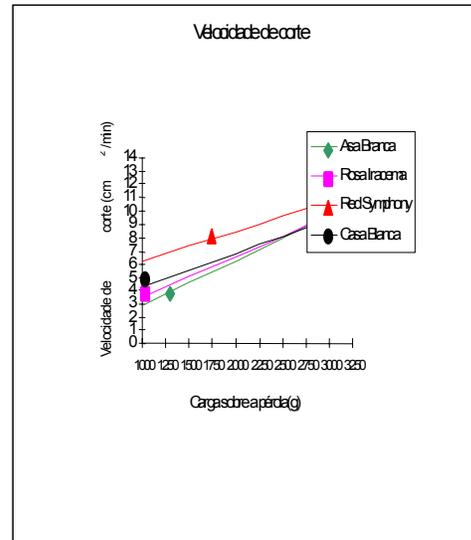


FIGURAS 2 – PRIMEIRA COMPARAÇÃO DAS CURVAS DE VELOCIDADE DE CORTE E CONSUMO DAS PÉROLAS OBTIDAS UTILIZANDO OS ELEMENTOS ABRASIVOS DA “CO-FI-PLAST” E “DIAMOND BOARD”

Na análise das quatro curvas, quanto à velocidade de corte e ao consumo da pérola marca “co-fi-plast”, observa-se que enquanto a eficiência da operação do corte aumenta no sentido Asa Branca, Rosa Iracema, Casa Blanca, Red Symphony (seqüência das curvas plotadas a partir da mais próxima do eixo das abscissas) o consumo da pérola decresce no sentido inverso. Nestas curvas obtidas foi verificado que a velocidade de corte diminui em função do aumento do percentual de quartzo. Verificou-se, também, que o consumo da pérola aumenta em função do aumento da quantidade de quartzo na rocha.



FIGURAS 3 – SEGUNDA COMPARAÇÃO DAS CURVAS DE VELOCIDADE DE CORTE E CONSUMO DAS PÉROLAS OBTIDAS UTILIZANDO OS ELEMENTOS ABRASIVOS DA “CO-FI-PLAST” E “DIAMOND BOARD”



FIGURAS 4 – COMPORTAMENTO DA VELOCIDADE DE CORTE E DO CONSUMO DO ABRASIVO “CO-FI-PLAST” NOS GRANITOS ESTUDADOS

CONCLUSÕES

Na ocasião das visitas técnicas realizadas às pedreiras de granitos do Ceará verificou-se que as mesmas carecem de pesquisa mineral de detalhe para associar as características da jazida com o plano de aproveitamento econômico, e ainda, de tecnologia adequada para lavra de maciços rochosos.

Na pesquisa de laboratório realizada estudou-se, inicialmente, a caracterização tecnológica dos diferentes tipos de granitos em questão, sendo as amostras consideradas em condições de representar as jazidas das quais foram coletadas. Nesta investigação, avaliou-se a qualidade dos elementos abrasivos de fios diamantados, fabricados no

mercado internacional, com as amostras de granitos do Ceará para uma futura utilização desta tecnologia.

A difusão industrial da tecnologia avançada de fio diamantado para produção de blocos de granitos em pedra está subordinada a dois importantes parâmetros: velocidade de corte do granito suficientemente elevada e consumo dos elementos abrasivos compatível com o custo unitário da operação.

Houve um progresso de conhecimento tecnológico, nos últimos cinco anos, por conta de ações concatenadas do governo e empresários, das quais se destaca a contribuição técnico-científica dada pela Universidade de Cagliari, Itália. As pesquisas realizadas em laboratório contribuíram para elucidar o mecanismo de corte e o processo de desgaste, sob condições experimentais variáveis.

Com base nessa pesquisa, a partir dos dados de velocidade de corte dos diferentes tipos de granitos do Ceará e do consumo das pérolas diamantadas de marcas “co-fi-plast” e “diamond board”, pôde-se concluir o seguinte:

- granito Asa Branca deu melhor resultado com a pérola marca “co-fi-plast”, que teve uma ação de corte no material superior à pérola marca “diamond board”, principalmente para carga superior a 1.000 g. Neste mesmo granito a pérola diamantada “co-fi-plast” apresentou consumo tolerável até a carga de 2.000 g;
- a velocidade de corte e o consumo das pérolas diamantadas são correlacionados com o percentual de quartzo para determinados valores de carga aplicada;
- observou-se, em particular com respeito ao percentual de quartzo, uma forte correlação das características mineralógicas das rochas com a velocidade de corte e consumo das pérolas;
- verificou-se que a velocidade de corte diminui em função do aumento do percentual de quartzo e que o consumo da pérola aumenta em função do aumento da quantidade de quartzo;
- a caracterização dos elementos diamantados, em laboratório, possibilitou a determinação da grande variação de diâmetros, distribuição, e número de diamantes por anéis num mesmo fio diamantado;
- verificaram-se, em estudos realizados para o mesmo fio diamantado, diferenças acentuadas no número de diamantes em anéis de pérolas;
- os fios diamantados vendidos no mercado não foram fabricados para granitos brasileiros e, geralmente, não se mostram adequados para os mesmos.

Existem, no mercado de abrasivos de fios diamantados, utensílios de qualidade bastante inferior aos especificados pelos fabricantes.

Dessa forma, concluiu-se da necessidade de fabricar no Brasil o equipamento de ensaio de abrasivos de fios diamantados em escala de laboratório já desenvolvido no Departamento de Geoenharia e Tecnologia Ambiental da Universidade de Cagliari, Itália, especialmente para essa finalidade. Pois não se justifica, com a quantidade de pedreiras existentes no País, substituindo as suas técnicas rudimentares de extração por técnicas mais avançadas, em particular o fio diamantado, ficar dependendo de ensaios que devem ser realizados na Itália, elevando significativamente os seus custos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. STELLIN JÚNIOR, A.; CARANASSIOS. A extração de rochas ornamentais. Brasil Mineral, São Paulo, n. 89, p 30-34, 1991.
2. CAPUZZI, Q. **Moderne technology and machinery for quarrying**. Benetti Macchine. S.r.l. Carrara, 1988, p.95.
3. BLASI, P. *et al.* Applicazioni di metodologie de prospezioni geomineraria alla ricerca ed alla valorizzazione di depositi de pietri ornamentali. ATTI DELLE GIORNATE DI STUDIO, Convegno Internazionale Su: Situazione e Prospettive Dell' Industria Lapidea, A.N.I.M., **Anais**.Cagliari, 1989, p.105-113.
4. BRADLEY, F. **Cenni sull' analisi geologica delle rocce ornamentali**. Technostone S.p.A., Carrara, 1989, p.91
5. CICCUCU, R. Coltivazione e valorizzazione dei lapidei silicei quarrying and processing of eruptive rocks. ATTI DELLE GIORNATE DI STUDIO, Convegno Internazionale Su: Situazione e Prospettive Dell' Industria Lapidea, A.N.I.M.,Cagliari, 1989. **Anais**. Cagliari, 1989, p.165-177.
6. BORTOLUSSI, A. *et al.* Influenza delle caratteristiche petrografiche e struttural sulla resa di cava e la distribuzione del volume dei blocchi. In: CONGRESSO ÍTALO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE MINAS, 2., Cagliari, 1990. **Anais**. Cagliari, 1990. p.9-19.
7. BORTOLUSSI, A. *et al.* Improved Technology and Planning in Modern Stone Quarrying. In: SYMPOSIUM ON MINE PLANNING AND EQUIPMENT SELECTION, Balkema, 1988. **Anais**. Rotterdam, p. 107-119.
8. BORTOLUSSI, A. *et al.* Escavazione e preparazione du blocchi di granito. **Marmi Graniti, Pietre**, Carrara, n. 162, p. 17 – 33, 1989.
9. CARANASSIOS, A.; CICCUCU, R. Tecnologia de extração e valorização das rochas ornamentais.

- Rochas de Qualidade**, São Paulo, n. 109, p.58- 77, 1992.
10. CARANASSIOS A. Applicazione di tecnologie avanzate per il taglio del granito. **Tesi di dottorato**. Cagliari, 1993. Università Degli Studi di Cagliari. Cagliari, 1993, 368p.
11. ALENCAR, CRA., CARANASSIOS A.;CARVALHO D.L.C **Estudo econômico sobre rochas ornamentais, tecnologias de lavra e beneficiamento**. V.3, Fortaleza, Instituto Euvaldo Lodi da Federação das Indústrias do Estado do Ceará. Fortaleza, 1996, p.225.
12. CICCUCI, R. *et al.* Studio dell' Organizzazione di una cave di Granito in Sardegna. In: IV Convegno Nazionale su Attività Estimativa e Defesa del Suolo, Saint-Vincent, 1986. **Anais**. Saint-Vincent, 1986. p. 172-179.
13. CICCUCI, R. *et al.* Moderne tecniche di estrazione dei lapidei ornamentali e problemi di impatto ambientali in Italia. In: SIMPÓSIO E.P.U.S.P. SOBRE CONTROLE AMBIENTAL E SEGURANÇA EM MINERAÇÃO, São Paulo, 1989. **Anais**, São Paulo, 1989. p. 51-65.
14. CICCUCI,R. Tecnologia avanzate per la coltivazione e la lavorazione dei lapidei. In: 1ª CONFERENZA EUROPEA SULLE CAVE - EUROCAVE, A.N.I.M., Saint Vincent **Anais**. Saint Vincent, 1992, p. 211 - 220.
15. CAPUZZI, Q. Una tecnologia nella escavazione dei marmi apuani: Le Tagliatrici a filo diamantato. Atti delle Giornate di Studio, Il CONVEGNO NAZIONALE SU: LE ATTIVITA ESTRATTIVE E LA PROBLEMATICHE DEL TERRITORIO, A.N.I.M., Bergamo, 1983. **Anais**. Bergamo, 1983 24-26, novembro 1983.
16. BERTOLINI, R. *et al.* Le moderne tecnologie nella estrazione lapidea nazionale ed. internazionale. Convegno internazionale la cava nel 2000. Tra innovazione tecnologica e nuove dinamiche di mercato. FEIRA INTERNAZIONALE MARMI E MACCHIN CARRARA, 7., Carrara, 1986.
17. CRESPO, A. Novas tecnologias para extração de rochas ornamentais. **Rochas & Equipamentos**, Lisboa, n. 24, p.122-136, 1991.
18. BORTOLUSSI, A. *et al.* Prestazioni e usura del filo diamantato nel taglio dei graniti. In: CONGRESSO INTERNAZIONALE DI GEOINGEGNERIA, Torino, 1989. **Anais**. Torino, 1989, p.195-200.
19. BORTOLUSSI, A. *et al.* Valutazione delle prestazioni del filo diamantato mediante prova di laboratorio. Atti DELLE GIORNATE DI STUDIO, Convegno Internazionale su: Situazione e
- Prospective Dell' Industria Lapidea, A.N.I.M., **Anais**, Cagliari, 1989, p. 219-223.
20. CICCUCI, R. *et al.* Valutazione Sperimentale Delle Caratteristiche di lavoro Degli Utensili Diamantati. In: CONGRESSO ÍTALO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE MINAS, 4. Canela-RS, **Anais**. Canela, 1996, p. 131 - 139.
21. VIDAL, F. W. H. Estudo dos Elementos Abrasivos de Fio Diamantado para a Lavra de Granitos do Ceará. **Tese de Doutorado**, São Paulo, 1999, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999, 173p.

ESTUDO DE CASO SOBRE O MODELAMENTO INFORMATIZADO DA LAVRA DE ROCHAS ORNAMENTAIS

Marcos Roberto Kalvelage¹, Aarão de Andrade Lima² e Giorgio F. C. de Tomi³

¹ Engº Minas e Civil, MSc. Departamento de Mineração e Mineralogia – CCT/UFPB. Av. Aprígio Veloso, 882 – Bodocongó – 58.109-970 – Campina Grande – PB

Fone: (83) 310-1169 - E_mail: kalvelage@uol.com.br

² Engº Minas, PhD. Departamento de Mineração e Mineralogia – CCT/UFPB. Av. Aprígio Veloso, 882 – Bodocongó – 58.109-970 – Campina Grande – PB

Fone: (83) 310-1169 - E_mail: aarao@paqtc.rpp.br

³ Engº Minas, PhD. EPUSP. Av. Prof. Mello Moraes, 2373 – Cidade Universitária - 05508-900 – São Paulo - SP

Fone: (11) 3818-5786 r. 26 - Fax: (11) 3818-5721 - E_mail: gdtomi@usp.br

RESUMO

O objetivo primário deste trabalho, consiste na verificação das condições de aplicação de um software de modelamento de blocos, já com largo e comprovado uso no modelamento de jazidas e de minas em operação. Neste caso específico trata-se de um granito ornamental de nome comercial Casablanca explorado pelo Grupo GRANOS/IMARF, localizado no município de Pedra Branca, no Estado do Ceará. Subsidiariamente, o trabalho tem o objetivo de revisar e consolidar as técnicas para coleta e análise de dados geológicos e geotécnicos relevantes à atividade de extração de granitos ornamentais, por meio de um estudo de caso. A pesquisa envolveu as etapas: revisão bibliográfica, coleta de dados em campo, análise de dados, implementação em computador e interpretação. A revisão bibliográfica engloba a geologia e outras características da área, envolvendo a pedreira escolhida para o estudo, e acerca de pesquisas anteriores centradas na aplicação de programas voltados à modelagem de jazidas de rochas ornamentais. A coleta e análise de dados na área da pedreira envolveram levantamento plani-altimétrico e medição minuciosa da foliação do maciço. Fraturas de alívio não foram incorporadas ao modelo por falta de afloramentos na época dos levantamentos de campo. A fase de implantação em computador, consistiu na digitalização da topografia da área da pedreira. Usando o aplicativo Datamine, foi então realizado o modelamento da reserva da pedreira com blocos em dimensões adequadas aos teares da empresa (3,30m por 1,90m por 1,60m). Foi realizado um modelo com corte horizontal dos blocos, resultando em uma reserva de 19.201 blocos (78% de recuperação); tendo sido as partições da rocha na periferia do modelo que não atingem as dimensões padronizadas consideradas como estéril. Um segundo modelo simulou blocos cortados a um ângulo de 32° em relação à horizontal, segundo a foliação da rocha, resultando em 19.571 blocos (81% de recuperação). A reserva aqui calculada será reduzida, tendo em vista os defeitos sempre presentes na rocha, ocasionando o descarte dos blocos desprovidos de valor comercial de mercado.

INTRODUÇÃO

A extração de rochas ornamentais apresenta características distintas da lavra de outros bens minerais. Aqui, a integridade da rocha em todos os aspectos, apresenta-se como fator condicionante.

A presença de juntas, falhas, inclusões, alterações mineralógicas e outros defeitos, constituem aspectos decisivos sobre o valor comercial de um bloco ou chapa de rocha. Esse aspecto motivou a escolha do tópico desta pesquisa, com base na necessidade de conhecimento das diversas características da rocha do ponto de vista ornamental em distribuição espacial. Trata-se de um estudo prático, com as limitações normais, do ponto de vista de escala geométrica, precisões e representatividade dos dados a serem colhidos do maciço rochoso, bem como das restrições impostas por uma exploração comercial. O esforço em aplicar-se técnicas modernas, originadas com a popularização das ferramentas da informática, contrapõe-se ao empirismo puro.

Considerável esforço técnico, operacional e investimento, são necessários para caracterização de uma pedreira de rocha ornamental. É prática comum na atividade mineral, de uma forma geral, a utilização apenas parcial de dados, quando não é usada uma representação gráfica de uma forma versátil que possibilite uma visualização imediata das características da jazida. Os softwares especializados para modelamento de jazidas minerais e de minas, passaram a ter aplicações práticas nas últimas duas décadas. Custos decrescentes, com facilidade de operação e aumento de versatilidade e de desempenho, tem ocorrido vertiginosamente nos últimos anos tanto para equipamentos como para programas de computador.

A presente pesquisa, foi motivada considerando a disponibilidade de avançados programas de computador para modelagem da lavra em operações de jazidas e minas convencionais, conjugada à necessidade de uma maior difusão da técnica na área de rochas ornamentais. Os modelos de blocos normalmente usados na discretização de um corpo mineral têm uma conotação vinculada à disponibilidade de dados e aspectos matemáticos e computacionais. Por outro lado, no contexto de rochas ornamentais, os blocos devem assumir de fato as dimensões padronizadas, respeitando-se também aspectos geológicos (foliação, juntas, fraturas, etc.), bem como inclinação dos blocos.

O objetivo primário desta pesquisa, consiste na verificação das condições de aplicação de um software de modelamento de blocos, já com largo e comprovado uso no modelamento de jazidas minerais e de minas em operação, para o caso

específico do granito ornamental comercialmente conhecido por Granito Casablanca. Subsidiariamente, o trabalho tem o objetivo de revisar e consolidar as técnicas, para coleta e análise de dados geológicos e geotécnicos relevantes à atividade de extração de granitos ornamentais, por meio de um estudo de caso.

A pesquisa envolveu as etapas: revisão bibliográfica, coleta de dados em campo, análise de dados, implementação em computador e interpretação. A revisão bibliográfica, engloba aspectos gerais da geologia e outras características da área, envolvendo a pedreira escolhida para o estudo, e acerca de pesquisas anteriores centradas na aplicação de programas voltados à modelagem de depósitos de rochas ornamentais. A fase de coleta de dados compreende a topografia da pedreira em escala de lavra, e da medição de ângulos relacionados à foliação da rocha. A análise de dados consistiu no desenvolvimento e aplicação de uma planilha para a determinação precisa da direção e mergulho da foliação da rocha.

A fase de implantação em computador consistiu na digitalização da topografia da área da pedreira. Foi então, realizado o modelamento da reserva da pedreira com blocos em dimensões comerciais, usando o aplicativo DATAMINE. Com o cálculo da reserva de blocos e visualização da pedreira em diversas opções de saída gráfica, fica completa a fase de interpretação de dados. A pesquisa está inserida no contexto geral de estudo de caso, com verificação sobre a generalização da aplicação de um programa para modelamento de jazida mineral e mina, ao caso mais específico de uma pedreira de granito ornamental. A abordagem ficou restrita ao caso de uma pedreira de porte médio em fase de desenvolvimento.

CARACTERÍSTICAS DA ÁREA DO ESTUDO

O corpo do granito Casablanca, está localizado próximo à Vila de Tróia, município de Pedra Branca, no Estado do Ceará, situando-se aproximadamente nas coordenadas geográficas de latitude 5°18'49"S, longitude 39°32'43"W (coordenadas UTM, zona 24, 398765E, 9389454N), com declinação magnética de cerca de 22°W. Partindo de Fortaleza, o acesso é feito pela BR-020, percorrendo-se aproximadamente 220 km até o município de Boa Viagem. Na mesma BR-020, percorre-se aproximadamente mais 50 km. Segue-se então por uma estrada vicinal no sentido Leste para Pedra Branca. Após 12 km segue-se por uma bifurcação à direita desta vicinal até a Vila de Tróia. A pedreira do granito Casablanca se localiza a aproximadamente 1 km antes da Vila de Tróia.

Em linhas gerais, a jazida do granito Casablanca, está inserida em uma serra alongada de sentido SW-NE, com extensões aproximadas de 6 e 1,5 km nos sentidos longitudinal e transversal, respectivamente. A base da serra encontra-se delimitada pela curva de nível de cota 500m. O cume da serra atinge a cota 695m, evidenciando portanto, um acentuado gradiente topográfico. A pedreira principal, estudada na presente pesquisa, está

localizada no flanco noroeste da serra, a uma cota aproximada de 450m.

A rocha da pedreira, segundo VIDAL (1999), trata-se de um biotita-monzogranito, exibindo processo de metassomatismo para um muscovita monzogranito. Observa-se ainda neste corpo, um maciço aparentemente íntegro, porém, com elevado nível de tensões naturais. Trata-se de um corpo granítico, intrusivo, com forma elíptica, com aproximadamente 30m de altura, topo abaulado e restrito com encosta relativamente íngreme. A área de estudo, compreende uma pequena porção situada no flanco de uma serra. Trata-se de um local com escassez de drenagem, com cursos de direção preferencial NE-SW e secundariamente NW-SE.

LEVANTAMENTO E ANÁLISE DE DADOS

Um aspecto crucial à extração de rochas ornamentais consiste na coleta e análise de dados de campo. De uma forma geral, os programas de computador comercialmente disponíveis na atualidade, têm facilitado substancialmente a análise de dados, reduzindo o trabalho de gabinete e aumentando a facilidade de interpretação dos resultados. O esforço maior deve então, concentrar-se na obtenção de dados representativos do maciço rochoso e da rocha, em quantidade e qualidade suficientes para alimentar os programas de computador. Devido às limitações de tempo e de recursos, a coleta e análise de dados de campo compreendidos na presente pesquisa, ficaram restritas apenas à necessidade de validação da metodologia aqui seguida.

De uma forma geral, a caracterização de uma rocha ornamental envolve a determinação e avaliação de diversas características tecnológicas (VIDAL, 1995; FRAZÃO & FARJALLAT, 1996; VIDAL, 1999). Paralelamente também é importante a caracterização geológica da jazida em escala de pedreira (1:100 a 1:1000). As técnicas tradicionais disponíveis para caracterização de depósitos minerais (fotogeologia, geologia de campo, petrografia, geofísica, sondagem, etc.) devem ser adaptadas, no sentido de atender aos requisitos específicos das rochas ornamentais, incluindo-se aqui, a necessidade de integridade dos blocos, que geralmente induz a uma baixa recuperação da jazida. Um aspecto particular sobre a lavra de rochas ornamentais consiste na necessidade da extração de blocos já na fase de pesquisa, com o desenvolvimento de algumas frentes de lavra. Esse aspecto induz a riscos e custos adicionais inerentes ao setor de rochas ornamentais, sendo no entanto, importante para a definição de viabilidade de uma rocha para fins ornamentais.

Na área da pedreira principal, foram realizados trabalhos de topografia. No local da pedreira, juntas subverticais são muito raras, não justificando portanto, esforço para seu mapeamento. Foi detectada uma fratura de alívio persistente. Não foi possível entretanto, definir o posicionamento dessa feição no maciço rochoso em forma tridimensional, tendo em vista, limitações dos dados topográficos e de afloramento da mesma, na época da realização dos trabalhos de campo. Dois

levantamentos de curvas de nível da pedraira, realizados um com nível laser e outro com teodolito, foram considerados. Os dados foram então agrupados, compatibilizados e digitalizados, resultando no mapa plani-altimétrico. A atualização das bancadas desenvolvidas até o final da pesquisa de campo (março de 2000), foi então, feita com bússola e trena, sendo as medições inseridas na base topográfica.

A foliação é uma das feições geológicas mais importantes para a extração de granitos ornamentais na maioria das pedrairas. Ela determina um dos planos naturais de partição da rocha, influenciando decisivamente na forma de corte e liberações de blocos. Adicionalmente, a foliação governa a estética e as propriedades físicas do granito, após o desdobramento de bloco em chapas. O granito Casablanca exibe uma foliação bem definida; no entanto, de difícil medição por ser movimentado. Assim, foi dada atenção especial a esse aspecto na presente pesquisa. Antes da abertura de uma pedraira, os afloramentos possibilitam a medição da foliação, usando bússola. Nesse caso, a dificuldade para a medição do mergulho verdadeiro, fica evidenciada, por não estarem disponíveis cortes ou faces naturais perpendiculares à foliação da rocha (LOCZY & LADEIRA, 1976). Adicionalmente, a pequena escala considerada com o uso de bússola, reduz a precisão dos ângulos medidos. Recomenda-se aqui, o método estatístico de medições em diversas frentes, com a adoção de um valor médio como representativo da foliação do maciço. O cálculo de valores de direção e mergulho verdadeiros, a partir de valores aparentes, foi sistematizado e implementado em planilha eletrônica (KALVELAGE, 2001; ANDRADE LIMA, 2000). Na época em que foram executados os levantamentos de campo, estavam abertas seis frentes no granito Casablanca. As medições efetuadas nessas frentes foram aplicadas na planilha para cálculo de direções e mergulhos verdadeiros, estando os valores médios mostrados na Tabela 1.

TABELA 1 – Direção e mergulhos médios de foliação.

| Local da Frente na Pedreira | Direção média | Mergulho médio |
|-----------------------------------|---------------|----------------|
| Frente 1 (3 medições, 3 calculos) | 250,0° | 33° |
| Frente 2 (1 medição, 1 calculo) | 248,5° | 30° |
| Frente 4 (1 medição, 1 calculo) | 257,0° | 38° |
| Frente 5 (3 medições, 2 calculos) | 249,0° | 24° |
| Frente 6 (1 medição, 1 calculo) | 269,0° | 35° |
| Média (9 medições, 8 calculos) | 255,0° | 32° |

APLICAÇÃO DO SOFTWARE AO MODELAMENTO DA PEDREIRA

A utilização do software de mineração Datamine, em rochas ornamentais é recente, existindo portanto, pouca literatura sobre o assunto. No setor de rochas ornamentais, os conceitos tradicionais de mineração vem sendo gradativamente desenvolvidos, porque este setor não comporta os parâmetros comumente empregados em outros setores da mineração (CARANASSIOS et al., 1998). As rochas ornamentais demandam significativo planejamento para a extração dos blocos, visando maior aproveitamento da jazida de modo a maximizar a reserva útil e a quantidade dos blocos comerciais

extraídos. LIMA et al. (1998) utilizam um conceito de modelagem de blocos geológicos para o caso de rochas ornamentais, onde são definidos blocos de lavra com base nos parâmetros de extração. O trabalho de definição de blocos, sem auxílio de um software, é bastante tedioso. As funções de geração de blocos são muito flexíveis e permitem definir blocos em três dimensões, com o ajuste preciso dos blocos, de acordo com os limites verticais e horizontais.

Características da Lavra

A seguir, é feita a descrição das características principais da pedraira do granito Casablanca. O método de lavra utilizado para o granito Casablanca, conforme Figura 1, é o de bancadas baixas. Na ocasião da visita técnica para coleta de dados (realizada em março de 2000) o setor oeste da pedraira mostrado na Figura 1, contava com cinco frentes de lavra em desenvolvimento. A tecnologia de corte utilizada na pedraira do granito Casablanca é o de corte contínuo; mais precisamente, a tecnologia de fio diamantado.



FIGURA 1 – Foto das frentes de lavra do granito Casablanca setor oeste.

Construção do Modelo Digital

A construção do modelo digital da área da pedraira em estudo se dá inicialmente com a digitalização do mapa plani-altimétrico, em uma mesa digitalizadora, o qual fornecerá as informações necessárias para que seja definida a geometria do maciço. A seguir, é apresentada a seqüência para construção do modelo digital da pedraira. A partir de mapa plani-altimétrico da pedraira, realizado com nível a laser e desenhado em papel milimetrado, foi efetuada a digitalização das curvas de nível. A zona delimitada para modelamento, compreende o setor sul da pedraira, englobando uma área de 175 metros no sentido E-W, por 130 metros no sentido N-S. A digitalização das curvas de nível foi realizada, com a utilização do próprio Datamine como software de reconhecimento das informações geradas pela mesa digitalizadora.

Com todas as informações necessárias digitalizadas, foi então realizada uma edição das curvas de nível, sendo efetuada uma redução do domínio para um alinhamento perfeito nos sentidos dos eixos x e y, e suavização, deixando mais apresentáveis as curvas de nível. Com isso, obteve-se um layout das poligonais da pedraira digitalizada, apresentadas na Figura 2. A orientação dos eixos x e

y, adotados nas partes a seguir deste trabalho, foi feita com base na foliação da rocha. Observa-se na Figura 2, que as faces dos cortes estão alinhadas com os eixos x e y; sendo o eixo y, inclinado 15° no sentido anti-horário em relação ao norte verdadeiro.

Com as curvas de nível e as frentes de lavra existentes digitalizadas, passa-se em seguida, para a criação da superfície virtual. A superfície virtual recria a superfície existente em uma área determinada da pedreira, com a triangulação entre os pontos das poligonais. Inicialmente, cria-se uma poligonal de fechamento que circunda todas as poligonais existentes, para que se possa criar o modelo digital; sendo essa, uma exigência operacional do software. Cada poligonal é triangulada com a poligonal posterior e a anterior, se houver. As frentes de lavra são criadas da mesma forma, gerando-se assim, uma superfície. Com a superfície virtual criada, parte-se então, para a geração do maciço, o qual engloba um volume específico da pedreira.

Inicialmente, foi estipulada uma cota mínima para definir o limite horizontal inferior do maciço a ser criado. Foi adotada a cota 435,46m, coincidindo com o limite inferior do afloramento. Esta cota será utilizada como nível base do maciço. Com a definição do nível base, cria-se primeiramente as laterais, que irão definir os limites verticais do maciço. Utilizando-se para a definição dessas laterais a poligonal de contorno e a cota base, criando-se com isso as três laterais: plano do eixo x, plano do eixo y e superfície acompanhando a cota máxima. Após a criação das superfícies laterais verticais, é realizado o fechamento horizontal inferior do sólido na cota 435,46m. O maciço digitalizado pode ser comparado com a foto da pedreira, Figura 1, onde se nota a equivalência entre modelo verdadeiro, e o maciço digitalizado, mostrado na Figura 3.

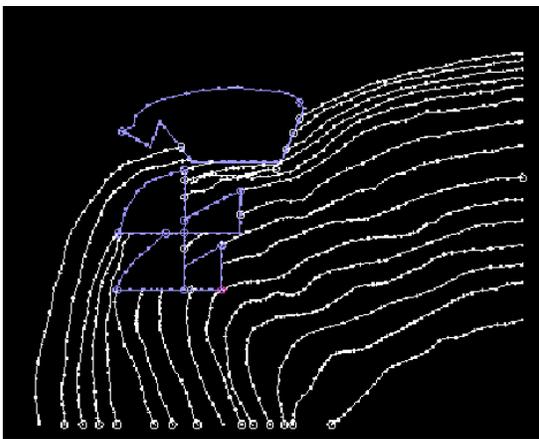


FIGURA 2 – Poligonais da área da pedreira após edição das curvas de nível e frentes de lavra existentes.

Modelamento de Blocos

Com o modelo digital do maciço criado, é iniciado o processo de geração do modelo de blocos. Alguns parâmetros foram adaptados. Um exemplo claro é o

parâmetro de exclusão de material, ou seja: o que é considerado estéril e o que é considerado minério. No caso da lavra de minerais convencionais, o estéril é definido pelo seu teor in situ, teor de corte, teor crítico, etc. Já no caso das pedreiras de rocha ornamental, o principal parâmetro é o tamanho do bloco. Outros parâmetros baseados em ensaios de propriedades físicas e petrográficas (resistências, porosidade, densidade, alterabilidade, cor textura, etc) podem ser incluídos, desde que se disponham de dados regionalizados em quantidade suficiente para uma modelagem que seja representativa da jazida. Aqueles blocos que atendem o tamanho padronizado são considerados lavráveis, os que não atingem as dimensões especificadas de bloco são considerados como estéril. Outros parâmetros importantes são descritos a seguir. O padrão adotado para o modelamento dos blocos, do caso em estudo, foi 3,30m por 1,90m por 1,60m (comprimento, altura, largura). Estas dimensões foram adotadas, levando em consideração as medidas máximas dos teares da empresa que lavra a pedreira, privilegiando o maior aproveitamento possível da jazida, ao mesmo tempo mantendo um baixo custo de beneficiamento, com a utilização de todo o espaço útil do tear durante a serrada.

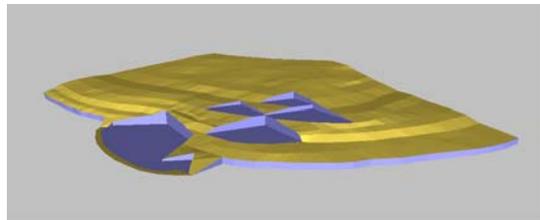


FIGURA 3 – Visão do maciço rochoso.

Outro parâmetro levado em consideração aqui, foi a direção preferencial de partição da rocha (foliação). Conforme medições efetuadas em campo, a direção preferencial de foliação é em média 255° azimute verdadeiro.

Para a inclinação de extração dos blocos em relação à horizontal, foram simuladas duas situações: primeiro considerou-se a situação da lavra pré-existente, a qual possui planos de corte horizontalizados; na segunda simulação considerou-se um mergulho de 32° em relação à horizontal, coincidente com o mergulho da foliação.

Para que fosse possível o modelamento dos blocos apenas no volume desejado, foram definidos os seguintes limites do modelamento: a superfície do maciço, os fechamentos laterais e o fechamento horizontal inferior. Desta maneira, o modelamento é realizado dentro de um volume completamente definido.

Outro parâmetro que deve ser levado em consideração, são as fraturas e falhas existentes no maciço. Para o caso em estudo, no setor norte da pedreira, o maciço se apresenta sem fraturas ou falhas. Caso essas feições geológicas sejam observadas, é possível sua incorporação no modelo, por meio de zonas de exclusão conforme adotado em pesquisa anterior (LIMA et al., 1998).

Com o modelo digital do maciço rochoso completamente definido (Figura 3), juntamente com os parâmetros totalmente definidos, pode-se partir para o modelamento em blocos propriamente dito. No modelamento com cortes horizontais, foram consideradas as bancadas com praças horizontais em uso na pedreira na ocasião da visita.

Para que fosse possível realizar o modelamento com eficiência, foi desenvolvido uma macro em conjunto com a Datamine Latin America. A macro é uma seqüência de comandos que é armazenada em um arquivo simples de texto, sendo sua principal função e vantagem possibilitar a repetição de trabalhos iterativos, para a criação e análise de diferentes cenários. As listagens dos macros para geração de blocos horizontais e inclinados, estão disponíveis na literatura (KALVELAGE, 2001; DE TOMI & KALVELAGE, 2001). A macro conduz à criação do modelo de blocos, levando em consideração os parâmetros já definidos. Após a criação do modelo, a macro comanda a rotina para cálculo do volume total do maciço rochoso, o volume de blocos utilizáveis e o volume de rocha estéril (sub blocos). Para cálculo do estéril, são contabilizados os volumes com dimensões abaixo do padrão especificado.

O modelo de blocos é criado com blocos e sub blocos, iniciando-se o processo com blocos mais próximos à superfície topográfica do modelo. Todo o modelo é inicialmente preenchido por blocos nas dimensões pré-estabelecidas. Na seqüência todos os espaços vazios são preenchidos por sub blocos. Com o preenchimento pode-se visualizar o modelo de blocos após remoção da superfície contínua, Figura 4. Um corte deste modelo na direção longitudinal dos blocos, direção y, 345° de azimute em relação ao norte verdadeiro, é demonstrado na Figura 5.

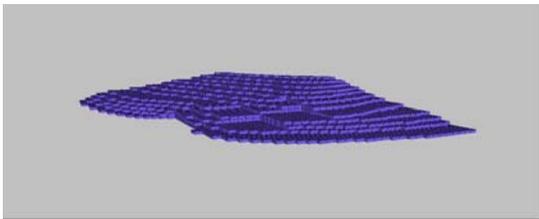


FIGURA 4 – Modelo digital dos blocos, sem a superfície do terreno digitalizado.

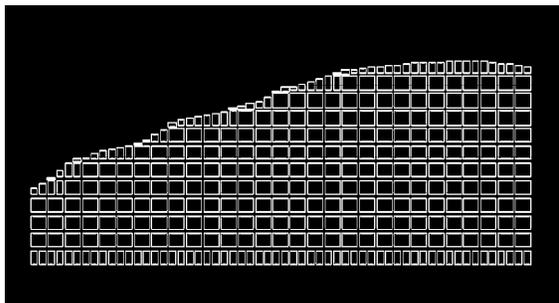


FIGURA 5 – Corte do modelo digital dos blocos e sub blocos, sem a superfície e na direção 345° Az.

Após o modelamento, a macro proporcionou a geração de um relatório referente às reservas obtidas com cortes horizontais, conforme Tabela 2.

TABELA 2 - Volumes referentes ao modelo com cortes horizontais.

| MODELO ⁽¹⁾ | VOLUME (m ³) |
|-----------------------|--------------------------|
| Blocos inteiros | 192.631 |
| Sub blocos | 53.330 |
| Total da pedreira | 245.962 |

(1) Número de blocos inteiros (19.201).

Deve-se ressaltar que a reserva de blocos inteiros está condicionada unicamente a fatores geométricos, sem consideração acerca das imperfeições que normalmente reduzem substancialmente a recuperação da lavra de rochas ornamentais.

Para a criação do modelo com cortes inclinados, é utilizado o mesmo modelo digital de maciço (Figura 3) que serviu para a criação do modelo com cortes horizontais. Basicamente, a diferença entre o modelamento com cortes inclinados e o modelamento com cortes horizontais está na macro, a qual sofreu alterações. Estas alterações são referentes à rotação do modelo e algumas outras mudanças decorrentes dessa operação. No modelamento com cortes inclinados, foram consideradas bancadas com mergulho de 32°, coincidindo com o mergulho de foliação da rocha.

Após a execução da macro usando mergulho de 32°, o modelo é gerado. Podemos visualizar o modelo de blocos na Figura 6. Com a utilização de filtros, podem ser eliminados os sub blocos, sendo no corte da Figura 7 mostrados somente os blocos. É importante salientar que, no modelo de blocos em três dimensões, estão representados todos os blocos lavráveis existentes na parte da pedreira selecionada para o estudo.

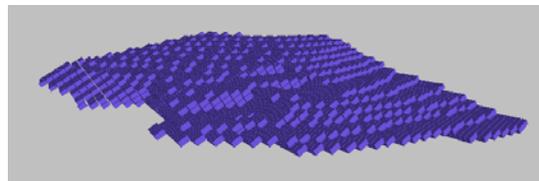


FIGURA 6 – Modelo digital dos blocos inclinados.

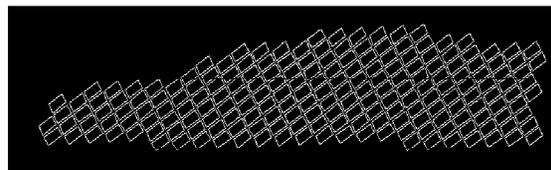


FIGURA 7 – Corte do modelo inclinado dos blocos, sem os sub blocos (direção aproximado Norte-Sul).

A macro gerou um relatório referente às reservas obtidas com o modelamento utilizando cortes inclinados, o qual é exibido na Tabela 3.

TABELA 3 - Volumes referentes ao modelo com cortes inclinados

| MODELO ⁽¹⁾ | VOLUME (m ³) |
|-----------------------|--------------------------|
| Blocos inteiros | 196.334 |
| Sub blocos | 46.060 |
| Total da pedreira | 242.394 |

(1) Número de blocos inteiros (19.571).

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

No decorrer do presente estudo, foi observado que o modelamento informatizado é de fácil aplicação para rochas ornamentais, necessitando-se de um levantamento topográfico plani-altimétrico e de dados geológicos e geotécnicos sobre o maciço rochoso. Observou-se ainda a viabilidade do modelamento, com blocos cortados em ângulo com a horizontal. Foi efetuado cálculo da reserva de blocos em ambos os modelos, através de duas macros DE TOMI & KALVELAGE (2001), obtendo-se valores muito próximos. O modelo com o corte inferior dos blocos no plano horizontal resultou em uma reserva de 19.201 blocos (78% de recuperação), enquanto que o modelo com plano de corte inclinado de 32° resultou em 19.571 blocos (81% de recuperação). É importante lembrar que a reserva calculada aqui, baseada puramente em fatores geométricos, será reduzida quando for considerada a reserva de blocos apresentando valor comercial de mercado, tendo em vista os defeitos que geralmente ocorrem na rocha. O modelo usando um plano de corte inferior inclinado para os blocos poderá ser útil naqueles maciços apresentando anisotropia ou fraturas não horizontais, tratando-se de uma das contribuições da presente pesquisa.

No local onde estava sendo aberta a pedreira principal não foram detectadas fraturas sub-verticais. Foi observada a presença de uma fratura de alívio, aparentemente concordante com a superfície topográfica, não sendo possível, entretanto sua inclusão no modelo por falta de afloramentos. Observou-se portanto que na prática os dados necessários à alimentação do software de modelamento não foram suficientes, principalmente sobre a presença de fraturas de alívio, as quais podem controlar o plano ou superfície de corte inferior do maciço durante a lavra.

Finalmente como sugestão para trabalhos futuro a ser desenvolvido em granitos para fins ornamentais recomenda-se melhorar a base de dados, o que somente torna-se possível com o avanço da pesquisa mineral e da lavra na pedreira, podendo o modelo ser utilizado para planejamento da lavra (LIMA et al. 2000).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE LIMA, A. **Determinação de Direções e Mergulhos de Planos Geológicos a Partir de Valores Aparentes**. Notas não Publicadas, 2000.

CARANASSIOS, A.; DE TOMI, G.; SILVA, N.S. **Utilização de Software de Mineração no Planejamento de Lavra de Rochas Ornamentais**. 1º Seminário de Rochas Ornamentais do Nordeste, p. 150-156. Olinda-PE, 1998.

DE TOMI, G; & KALVELAGE, M.R. **Macros para Geração de Modelo de Blocos em Rochas Ornamentais**. Notas não Publicadas, 2001.

FRAZÃO, E.B. & FARJALLAT, J.E.S. **Características Tecnológicas de Rochas Silicáticas Brasileiras de Revestimento**. Rochas de Qualidade, São Paulo, edição 128, p. 56-60, 1996.

KALVELAGE, M.R. **Modelamento Informatizado da Lavra de Rochas Ornamentais – Granito Casablanca**. Dissertação de Mestrado, Curso de Pós-graduação em Engenharia de Minas, CCT/UFPB – Campus2, Campina Grande, 2001.

LIMA, A.A.; KALVELAGE, M.R.; DE TOMI, G.; & SILVA, N.S. **Computer Assisted Planning for Extraction of Ornamental Granite**. Mine Planning and Equipment Selection, p. 833-4. Balkema-Rotterdam,2000.

LIMA, W.B.C.; LIMA, A.A.; DE TOMI, G.; & MEDEIROS, A.H. Posicionamento Automática de Blocos de Lavra de Rocha Ornamental. Anais do VI Workshop DATAMINE. Belo Horizonte, 1998.

LOCZY, L. & LADEIRA, E.A. **Geologia Estrutural e Introdução a Geotectônica**. São Paulo: Edgard Blücher; Rio de Janeiro: CNDCT. 528p. 1976.

VIDAL, F.W.H. **A Indústria Extrativa de Rochas Ornamentais no Ceará**. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de minas. São Paulo, 1995.

_____. **Estudo dos Elementos Abrasivos de Fios Diamantados para a Lavra de Granitos do Ceará**. Tese(Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Minas. São Paulo, 1999.

AVANÇOS TECNOLÓGICOS NO PLANEJAMENTO DE LAVRA PARA ROCHAS ORNAMENTAIS

Renato Mastrella¹, Renata Stellan¹, Antonio Stellan Jr.¹ e Giorgio F. C. de Tomi¹

¹Departamento de Engenharia de Minas e Petróleo, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo - EPUSP.
Av. Prof. Mello Moraes, 2373 – Cidade Universitária - 05508-900 – São Paulo - SP
Fone: (11) 3818-5786 r. 26 - Fax: (11) 3818-5721 - E_mail: gdtomi@usp.br

RESUMO

O Laboratório de Planejamento e Otimização de Lavra (LAPOL), pertencente ao Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo está desenvolvendo técnicas de planejamento para o aproveitamento de rochas ornamentais desde as atividades de extração, beneficiamento e aplicação na arquitetura e engenharia civil.

Este trabalho apresenta detalhes do avanço dessas linhas de pesquisa no laboratório (LAPOL) e discute a utilização de ferramentas informatizadas especializadas em modelagem geológica e planejamento de lavra, para estabelecer critérios para um melhor planejamento da extração e aproveitamento de blocos para a indústria das rochas ornamentais. Essas linhas de pesquisa deverão possibilitar aprimoramento na recuperação das pedreiras e consequentemente dos blocos já extraídos.

INTRODUÇÃO

As técnicas de planejamento para o aproveitamento de rochas ornamentais estão sendo desenvolvidas em 2 linhas de pesquisa em laboratório. A primeira é relativa ao planejamento da lavra a curto, médio e longo prazo. Normalmente se observa que o planejamento de lavra é feito a longo prazo não levando em conta as feições texturais e estruturais dessas rochas. No entanto, o planejamento da lavra a curto e médio prazo requer trabalho de modelagem de detalhe das jazidas com estudos de falhas, fraturas estruturais e texturas das rochas que são de importância fundamental para o estudo do corte de blocos, visando a obtenção de determinados efeitos estéticos e aumentar a recuperação na lavra dos blocos.

Uma segunda linha de pesquisa está relacionado ao aproveitamento de rochas ornamentais em que leva em conta o planejamento da serragem e do corte das rochas ornamentais para obtenção das características estéticas desejadas. Para isso os blocos vindos das frentes de lavra são estudados levando em conta sua estrutura, textura e cor de modo a realizar a serragem das chapas, acabamento superficial e seus respectivos cortes posteriores para obtenção do efeito estético desejado.

PLANEJAMENTO DE LAVRA PARA ROCHAS ORNAMENTAIS

Uma dificuldade comum no planejamento de lavra de rochas ornamentais está associada ao conhecimento da morfologia dos maciços rochosos onde se encontram as jazidas. As estruturas dos maciços rochosos compreendem o arranjo espacial das rochas e suas relações com o meio encaixante. Os maciços rochosos destinados a rochas ornamentais são frutos dos mais diversos tipos de gêneses geológicas e sofrem influência de forças tectônicas endógenas e exógenas além de forças gravitacionais.

Isso gera uma série de feições, seja regional, local ou em escala microscópica, que podem estar associadas às estruturas tectônicas geradas em estado de fluxo plástico (dobras, foliações, lineamentos, cisalhamentos) ou rígido (juntas e falhas) e também por estruturas tectônicas (juntas de alívio e, em menor escala, juntas de falha) causadas pela ação da gravidade agindo sub-paralelamente a superfície dos corpos rochosos mais resistentes. Tais descontinuidades permitem a ação do intemperismo físico-químico sobre as rochas gerando problemas de instabilidade e baixa recuperação nos blocos lavrados.

Alguns parâmetros de descontinuidade são essenciais para a caracterização de um maciço para fins ornamentais. Tais parâmetros englobam a orientação espacial, a continuidade da estrutura (persistência), a quantidade volumétrica das juntas, a morfologia de superfície da fratura, a forma e natureza do preenchimento, a abertura entre as superfícies opostas e a conectividade entre elas.

Para minimizar esses problemas relacionados a extração dos blocos em condições de comercialização, técnicas de investigações de sub superfície aliadas à um mapeamento geológico estrutural em detalhes torna-se primordial para o sucesso do empreendimento. A mais recente técnica de investigação de subsuperfície para maciços rochosos tem sido o GPR, por apresentar características ímpares quanto ao método utilizado.

Uma vez levantados os detalhes estruturais do maciço rochoso, é possível aplicar ferramentas especializadas de modelagem geológica para estudar o maciço e planejar a sua lavra. Para ilustrar esse procedimento, foi desenvolvido um exemplo de aplicação em uma área de extração de rochas ornamentais no Brasil.

O exemplo foi dividido em quatro cenários, onde foram analisadas as influências das feições geológicas na recuperação de um maciço rochoso. Para cada cenário foram gerados modelos de blocos com as seguintes dimensões:

- 1) $3,00 \times 1,70 \times 1,70 \text{ m} = 9,18 \text{ m}^3$
- 2) $2,50 \times 1,70 \times 1,60 \text{ m} = 6,80 \text{ m}^3$
- 3) $2,00 \times 1,40 \times 1,30 \text{ m} = 3,65 \text{ m}^3$
- 4) $1,80 \times 1,20 \times 1,20 \text{ m} = 2,59 \text{ m}^3$

Neste exemplo, as fraturas foram consideradas com mergulho de 90° . O modelo topográfico inicial está apresentado na Figura 1 a seguir.

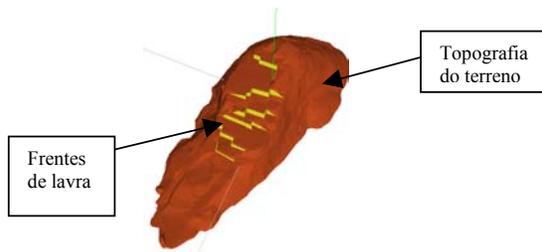


Figura 1: Modelo topográfico da área em estudo

Cenário 1: Corpo sem fratura

Este cenário foi feito para servir de parâmetro comparativo para os demais casos, onde foram simuladas famílias de fraturas. A recuperação teórica considerada neste cenário foi de 100%.

Cenário 2: Corpo com uma família de fraturas

Utilizando software de mineração, foi gerado um modelo de blocos com as dimensões descritas acima. A lógica do programa permite definir um espaço tridimensional, que deve ser preenchido por blocos de acordo com uma disposição pré-arranjada (conhecida como "protótipo de modelo"). Todos os blocos que atendem a dimensão especificada são alocados automaticamente naquele espaço. A recuperação teórica é calculada então como uma porcentagem do volume total disponível em relação ao volume preenchido pelos blocos de um determinado conjunto de dimensões.

Os resultados obtidos para o cenário 1 são apresentados na Tabela 1:

Tabela 1: Recuperação Teórica para Cenário 2

| Dimensão dos Blocos | Recuperação Teórica (%) |
|---|-------------------------|
| $3,00 \times 1,70 \times 1,70 \text{ m} = 9,18 \text{ m}^3$ | 99,14 |
| $2,50 \times 1,70 \times 1,60 \text{ m} = 6,80 \text{ m}^3$ | 99,17 |
| $2,00 \times 1,40 \times 1,30 \text{ m} = 3,65 \text{ m}^3$ | 99,30 |
| $1,80 \times 1,20 \times 1,20 \text{ m} = 2,59 \text{ m}^3$ | 99,41 |

Cenário 3: Corpo com duas famílias de fraturas (três ocorrências de fraturas)

Foi gerado um modelo de blocos com as dimensões descritas acima. Os resultados obtidos estão na Tabela 2.

Tabela 2: Recuperação Teórica para Cenário 3

| Dimensão dos Blocos | Recuperação Teórica (%) |
|---|-------------------------|
| $3,00 \times 1,70 \times 1,70 \text{ m} = 9,18 \text{ m}^3$ | 97,29 |
| $2,50 \times 1,70 \times 1,60 \text{ m} = 6,80 \text{ m}^3$ | 97,59 |
| $2,00 \times 1,40 \times 1,30 \text{ m} = 3,65 \text{ m}^3$ | 98,04 |
| $1,80 \times 1,20 \times 1,20 \text{ m} = 2,59 \text{ m}^3$ | 98,27 |

Cenário 4: Corpo com duas famílias de fraturas (quatro ocorrências de fraturas)

Foi gerado um modelo de blocos com as dimensões descritas acima. Os resultados obtidos estão na Tabela 3 a seguir.

Tabela 3: Recuperação Teórica para Cenário 4

| Dimensão dos Blocos | Recuperação Teórica (%) |
|---|-------------------------|
| $3,00 \times 1,70 \times 1,70 \text{ m} = 9,18 \text{ m}^3$ | 96,63 |
| $2,50 \times 1,70 \times 1,60 \text{ m} = 6,80 \text{ m}^3$ | 97,04 |
| $2,00 \times 1,40 \times 1,30 \text{ m} = 3,65 \text{ m}^3$ | 97,57 |
| $1,80 \times 1,20 \times 1,20 \text{ m} = 2,59 \text{ m}^3$ | 97,86 |

A Figura 2 apresenta o modelo estrutural do cenário 4, depois preenchido por blocos como ilustrado na Figura 3.

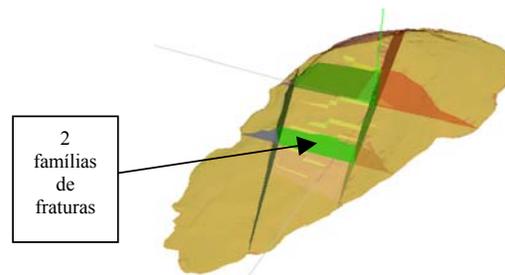


Figura 2: Modelo estrutural para cenário 4

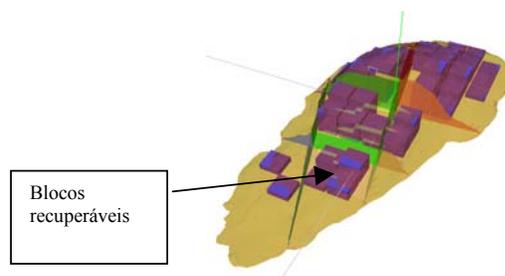


Figura 3: Blocos alocados para cálculo de recuperação teórica

Como observado acima, a recuperação teórica num mesmo depósito varia consideravelmente de acordo com o número de descontinuidades modeladas. A metodologia em desenvolvimento poderá auxiliar estudos de modelagem de jazida não somente para analisar o potencial de recuperação da jazida, mas acima de tudo dar suporte técnico à decisões de viabilidade de projetos de extração de rochas ornamentais, bem como estudos de planejamento de longo prazo de jazidas.

PLANEJAMENTO DE CORTE DE ROCHAS ORNAMENTAIS

Esse procedimento além de permitir um planejamento estético nas aplicações das rochas ornamentais irá permitir uma maior recuperação na lavra levando-se em conta, atualmente, a quantidade de blocos extraídos e denominados “com defeitos” por apresentarem variações texturais e de cores no próprio bloco “padrão” o que torna difícil o seu aproveitamento nas serrarias atuais que produzem ladrilhos com tamanho padronizado.

Para desenvolver esse tipo de trabalho escolheu-se um bloco de granito vermelho existente na jazida da Somibras Mineração Brasileira, Capão Bonito, SP, considerado “com defeito” por apresentar um veio pegmatítico que atravessa o bloco em toda sua dimensão.

Utilizando-se software de modelagem geológica, o bloco foi modelado dando a textura e cores típicas do granito. Em seguida procedeu-se a serragem simulada do bloco originando chapas de 2 centímetros de espessura que foram agrupadas num banco de dados.

Essas chapas apresentam com exatidão a estrutura e cores que terão após a serragem. De posse desse banco de dados será possível realizar intervenções arquitetônicas de acordo com a estética desejada num determinado projeto.

Atualmente está sendo organizado o banco de dados, e numa etapa seguinte será feita uma intervenção arquitetônica como exemplo de aplicação. As Figuras 4 a 7 a seguir mostram aspectos das varias fases já desenvolvidas nessa linha de pesquisa.

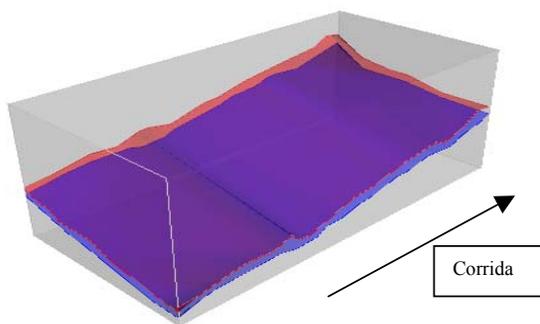


Figura 4: Modelo tridimensional de bloco de rocha ornamental, com estruturas modeladas a partir de levantamento das suas faces

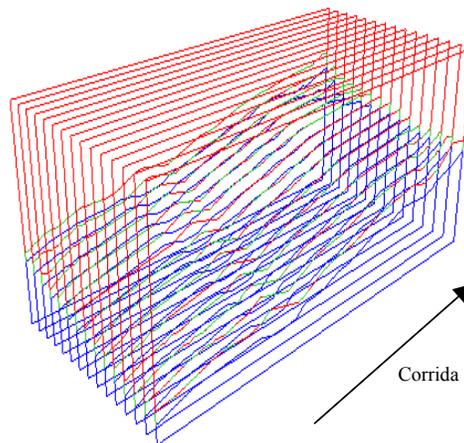


Figura 5: Poligonais representando cortes de chapas na corrida do bloco modelado

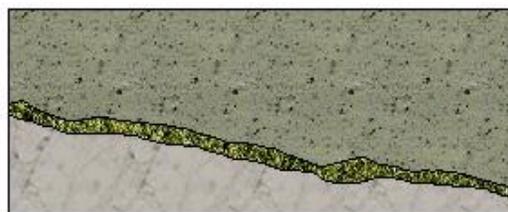


Figura 6: Modelo de chapa cortada com a textura original representada junto com a estrutura geológica

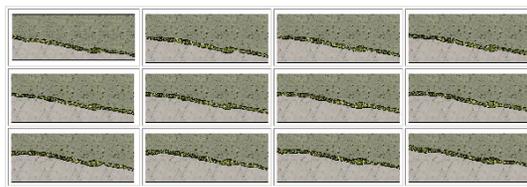


Figura 7: Parte do mosaico apresentando a disposição de chapas, permitindo estudo de padrões estéticos do corte do bloco

COMENTÁRIOS FINAIS

Foram apresentados detalhes do avanço de duas linhas de pesquisa específicas para o desenvolvimento de técnicas de planejamento visando o aproveitamento de rochas ornamentais desde as atividades de lavra, beneficiamento e aplicação na arquitetura e engenharia civil. Embora os resultados alcançados até aqui tem caráter preliminar, as linhas de pesquisa em desenvolvimento tem potencial significativo para apoiar decisões técnicas sobre a viabilidade de extração de rochas ornamentais, em particular em estudos de planejamento de longo prazo das jazidas e pedreiras em operação.

BIBLIOGRAFIA

LOCZY, L. DE & LADEIRA, E.A, GEOLOGIA ESTRUTURAL E INTRODUÇÃO À GEOTECTONICA, ED. EDGARD BLUCHER, 1976.

LOLIVEIRA, A. M. S., BRITO, S. N. A. – GEOLOGIA DE ENGENHARIA, CAP. 3 – ESTRUTURAS DOS MACIÇOS ROCHOSOS, CAP. 10 – ESTADO DE TENSÃO DOS MACIÇOS ROCHOSOS, CAP. 20 MATERIAIS ROCHOSOS PARA CONSTRUÇÃO. ABGE, 1998.

DATAMINE SOFTWARE, MANUAL DE REFERENCIA DO DATAMINE STUDIO, MICL (Inglaterra), Fev. 2001

ABORDAGEM PARTICIPATIVA NA GESTÃO DE RECURSOS MINERAIS: O CASO DE PEDREIRAS DE ROCHAS ORNAMENTAIS¹

Carlos C. Peiter

Eng^o, DSc do CETEM/MCT

Av. Ipê, 900 – Cidade Universitária – Ilha do Fundão – 21.941-590 – Rio de Janeiro - RJ
Fone: (21) 3865-7220 - Fax: (21) 260-9835 - E_mail: cpeiter@cetem.gov.br

RESUMO

Tendo como estudo de caso uma típica área de grande concentração de pedreiras artesanais no município de Santo Antônio de Pádua, noroeste do Estado do Rio de Janeiro, Brasil, descreve-se a implementação de metodologia de apoio à gestão de recursos naturais, denominada abordagem participativa, cujo objetivo é a construção de compromissos, procurando envolver todos os intervenientes e, quando preciso, utilizando ferramentas alternativas de solução de disputas, incluindo os gerados pelo fechamento de pedreiras. São apresentados resultados indicativos que a abordagem participativa é eficaz para a fase de negociação, aproximando as partes envolvidas em torno de propostas que, se implementadas, diminuirão muito a necessidade de uso dos instrumentos de comando e controle. Como conclusão, são destacados os pontos fortes, dificuldades intrínsecas da abordagem participativa e alguns resultados tornados concretos com apoio dessa metodologia em termos de melhorias ambientais e de produção.

INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a gestão de recursos naturais tem-se orientado pelos princípios do desenvolvimento sustentável. Ainda que este conceito e sua aplicação variem de acordo com o país e sua realidade econômica, ambiental e social, os instrumentos de comando e controle, especialmente as leis ambientais, apresentam atualmente muitos pontos em comum embora outros aspectos, como a fiscalização de seu cumprimento, nem tanto. Desastres ecológicos, aliados a fortes pressões políticas internacionais, tornaram as leis ambientais dos países em desenvolvimento bastante restritivas e, conseqüentemente, seu atendimento mais complexo.

Nesses mesmos países, o aparato governamental responsável pelo seu acompanhamento foi enfraquecido, quer pelo insuficiente desempenho das administrações públicas, quer pelas políticas de diminuição do poder do Estado, um dos requisitos impostos pela globalização da economia, com nítidos reflexos sobre a capacidade dos governos de gerir seus recursos naturais. Por outro lado, a democracia e o respeito à opinião dos cidadãos também têm evoluído, conferindo um caráter mais participativo às decisões políticas.

Para conviver com essas circunstâncias e superar deficiências, metodologias e ferramentas alternativas de apoio aos processos de gestão de recursos naturais têm sido desenvolvidas e usadas com múltiplos propósitos incorporando algo que não era tido como essencial ou estava ausente dos processos decisórios tradicionais: a participação, a opinião e a opção dos indivíduos e grupos de interesse envolvidos com a questão. Nos países onde a opinião pública é bem informada, e os governos garantem e estimulam a participação das comunidades interessadas, essas metodologias e ferramentas servem para suplantar conflitos e estabelecer compromissos e acordos para a gestão dos recursos naturais envolvidos. Nos países em desenvolvimento, as mesmas metodologias podem ajudar a criar o senso e a responsabilidade sobre o bem comum, reforçando o espírito comunitário e criando condições para dar início a um processo sustentável de uso dos recursos naturais.

Dentre estas metodologias e ferramentas estão a abordagem participativa, a abordagem ecossistêmica, a co-gestão e as técnicas alternativas de solução de disputas, tais como a construção do consenso, a facilitação e a mediação.

A metodologia denominada abordagem participativa será focalizada e apresentada através de sua implementação em um estudo de caso ligado à exploração econômica de recursos minerais que, por sua vez, se dá dentro de circunstâncias complexas, envolvendo inúmeros atores sociais e grande quantidade de indivíduos dependentes de determinado recurso mineral. Isso tudo, num cenário marcado pela falta de outras alternativas econômicas para sustento das comunidades e de grande desgaste do estoque de recursos naturais locais.

BREVE HISTÓRICO

Apresentação do problema

Em junho de 1992, uma notícia veiculada pela imprensa do Rio de Janeiro dava conta da existência de uma próspera atividade de produção de rochas ornamentais no noroeste do Estado do Rio de Janeiro².

² O relato aqui apresentado descreve os principais acontecimentos ocorridos entre 1992 e 97 em torno da produção artesanal de rochas ornamentais no município de Santo Antônio de Pádua, R.J.. Sendo uma versão própria de um técnico envolvido diretamente na mesma, ainda que procurando levar em consideração opiniões colhidas de várias fontes, está sujeita a discordâncias.

¹ Este trabalho foi extraído da tese de Doutorado do Autor, apresentado à USP sob a orientação do Prof. Roberto C. Villas Boas, e atualizado com resultados recentes.

Alertado por essa informação, e ainda desconhecendo a situação, o Departamento de Recursos Minerais do Estado do Rio de Janeiro (DRM-RJ), enviou uma equipe à região para efetuar o levantamento preliminar, sendo grande a surpresa face à proporção já adquirida pela atividade mineral, especialmente no município de Santo Antônio de Pádua, onde já se encontravam em funcionamento pelo menos 50 pedreiras, além de outras tantas instalações de serrarias de rocha ornamental (Departamento de Recursos Minerais, 1992).

Em dezembro de 1992, 41 pedreiras da Serra do Bonfim³ e 38 serrarias já haviam sido cadastradas pela equipe, enquanto um diagnóstico preliminar sobre a produção indicava uma série de pontos para ação dos organismos públicos (Departamento de Recursos Minerais, 1993). Entretanto, a desarticulação das ações das agências governamentais quanto a essa questão era muito grande, como pode ser comprovado através de vários episódios no período entre 1992 e 1996.

Em dezembro de 1996, a intervenção do Batalhão da Polícia Florestal e Meio Ambiente, na região, paralisou as atividades de dezenas de pedreiras, atuando proprietários, trabalhadores e encarregados das pedreiras pelo exercício ilegal de atividade de produção mineral e por danos ambientais. A posição dos técnicos do DRM-RJ, que desconheciam a iniciativa, foi a de procurar contornar e desagravar a situação, enquanto as forças políticas da região se mobilizavam e acionavam o gabinete do governador e políticos na cidade do Rio de Janeiro para neutralizar tanto a ação quanto seus efeitos legais.

Um segundo foco de desarticulação surge após esse primeiro episódio. O Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (SEBRAE-RJ), se propôs a oferecer maior apoio aos mineradores fazendo contato com o Centro de Tecnologia Mineral (CETEM) para estabelecer uma parceria nesse sentido. Em comum acordo com Associação de Empresas de Pedras Decorativas (AEPD), são realizados, em 1996, dois cursos teóricos/práticos de curta duração (Centro de Tecnologia Mineral, 1997).

Os desentendimentos não se limitam às agências de governo. Em 1996 uma nova Diretoria assume a AEPD e uma parte dos fundadores, incompatibilizados com o grupo vencedor, abandona a associação com o propósito de criar outra organização. Este grupo, com apoio da Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro (FIRJAN⁴), deu partida à fundação de um sindicato, abrindo nova frente de desentendimento na questão da produção mineral local. Em junho de 1997, as desavenças atingem tal ordem que o SEBRAE e o DRM, com apoio da prefeitura de Santo Antônio de Pádua, optam por organizar uma reunião ampla para

que todas as partes retomassem o diálogo e para que fossem discutidas as dificuldades do processo de legalização.

O clima do chamado “1º Fórum da Pedra”⁵ foi bastante tenso e, segundo opiniões de alguns participantes, serviu mais para identificar as partes em disputa do que para tirar uma pauta de acordos ou novos compromissos, não sendo suficiente para alcançar a articulação e retomada pretendidas.

A partir daí, percebeu-se que seria necessário dar início à montagem e implementação de uma metodologia de abordagem conciliatória e participativa, cuja base teórica e prática foi desenvolvida tal como relatado a seguir. Vale lembrar que situações semelhantes à da produção artesanal de rochas ornamentais de Santo Antônio de Pádua são muito mais a regra⁶ do que a exceção no Brasil, no que diz respeito à mineração informal.

Cabe, neste momento, colocar algumas indagações que motivaram o presente trabalho a partir do conhecimento da realidade desta região:

- como agir para diminuir a informalidade da produção das pedreiras artesanais e transformá-las em uma atividade reconhecida e bem tolerada pela sociedade?
- são os instrumentos de comando e controle operados pelas agências e organismos de governo suficientes e eficientes para lidar com a alta informalidade da produção mineral no Brasil?
- é possível alcançar um patamar sustentável na operação de pedreiras artesanais?
- como tratar a pequena mineração para que ela contribua socialmente e economicamente, trazendo o mínimo de impacto ambiental negativo de forma a garantir a sustentabilidade de regiões onde ela se acha concentrada ?
- como motivar uma sociedade rural, acostumada à tradicional prática política clientelista, a participar mais diretamente das decisões sobre o meio ambiente e sobre o seu próprio futuro?

O principal foco de interesse do presente estudo foi o segmento das rochas ornamentais e de revestimento, em especial aquelas que são fruto do trabalho artesanal de enormes contingentes de trabalhadores. Dentre eles estão os quartzitos, as ardósias, os serpentinitos, a pedra sabão e os calcários e gnaisses espalhados por vários estados do Brasil.

A seguir, são fornecidos outros elementos que permitem o entendimento da dimensão da questão ao nível nacional e um melhor detalhamento

³Tal como será apresentado a seguir, as pedreiras se concentram nas Serras do Bonfim, Catete e em menor quantidade na das Frecheiras.

⁴A Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro tem seções regionais, sendo uma destinada ao noroeste do Estado, localizada em Itaperuna.

⁵Dentre os órgãos e organismos, além do DRM e SEBRAE, estavam representados o DNPM, o CETEM, a FEEMA e a Prefeitura de S.A. de Pádua.

⁶Outro exemplo bem conhecido pela equipe do CETEM é a da produção de quartzito em Pirenópolis – GO.

da situação da produção das pedreiras artesanais em Santo Antônio de Pádua, que será o estudo de caso apresentado neste trabalho.

Pedreiras e serrarias de Santo Antônio de Pádua

Um maior conhecimento sobre a produção dessa área só se verificou a partir de 1992, quando o DRM iniciou campanha de levantamento de produtores e da produção. À época, existiam no município de Santo Antônio de Pádua 68 registros de licenciamento no DNPM para granito, gnaisse, diorito, granulito, migmatito, areia e outros, enquanto que na prefeitura haviam sido cadastradas 49 empresas com lavra (pedreiras) e aparelhamento/beneficiamento (serrarias) de rochas ornamentais, além de outras 49 somente de aparelhamento/beneficiamento (Departamento de Recursos Minerais, 1992). Em novembro de 1999 se encontravam registradas, no DRM, 91 áreas de extração de rochas para revestimento e 73 instalações de aparelhamento (serrarias). A tabela 1 apresenta a concentração de produtores na região de Santo Antônio de Pádua e a evolução dos registros, de 1992 a 1999.

Tabela 1 - Cadastros e registros de pedreiras e serrarias de rochas para revestimento no noroeste fluminense.

| Município | Registros de áreas de lavra existentes de rochas de revestimento* | | Registros de instalações de aparelhamento* | |
|---------------------------|---|------|--|------|
| | 1992 | 1999 | 1992 | 1999 |
| Santo Antônio de Pádua | 49 | 91 | 49 | 73 |
| Demais municípios somados | n.d | 13 | n.d | 1 |

* não foram incluídos os registros referentes à mármore de Itávia. n.d: não disponível. Fonte: DEPARTAMENTO DE RECURSOS MINERAIS (1992) e informações obtidas diretamente do DRM RJ, setembro de 1999.

Produtos

Os tipos de produtos feitos a partir dos blocos de nomes comerciais Pedra Miracema e Pedra Madeira retirados das pedreiras são: o próprio bloco, a rocha rachada (vários tamanhos), a rocha almofadada, a laje bruta 50 x 50 cm, a laje serrada 47 x 47cm, a lajinha serrada 11,5 x 23 cm, a lajinha serrada 11,5 x 11,5 cm e a lajinha serrada e almofadada 11,5 x 11,5 cm.

O produto de maior demanda pelo mercado é a "lajinha" (ladrilho de 11,5 x 23 cm) de Pedra Miracema. Os produtos de Pedra Madeira têm preços mais elevados que os de Miracema, provavelmente devido aos seus aspectos estético e decorativo, pois apresenta características de durabilidade e resistência piores que a de seu sucedâneo (Rede Cooperativa de Pesquisa sobre Exploração e Uso de Bens Minerais Empregados na Construção Civil e Mitigação de seus Impactos Ambientais, 1999).

MUDANÇAS E CONFLITOS

Mudança, complexidade e incerteza. Esses três elementos são normalmente encontrados em vários aspectos da história da Humanidade, e quase sempre estão presentes na gestão de recursos naturais e do meio ambiente. Um desafio é reconhecer sua importância e determinar como operar na sua presença, enquanto outro desafio é compreender como se tornar um agente voltado a mudanças positivas (MITHCHELL, 1997).

SÀNCHEZ et al. (1993) descreveram o caso de pedreira situada em área urbana, detalhando os principais impactos geradores de conflito: interferência com os processos ambientais, particularmente erosão, ruído, vibrações, sobrepressão de ar e lançamento de poeiras; interferência na paisagem, pois no tecido urbano ocorre a competição pelo uso do solo e aumento do tráfego de veículos; incômodos e riscos à comunidade face a aspectos intrínsecos da atividade.

MIRANDA et al (1997) classificaram os seguintes tipos de conflitos e crises nos quais a atividade garimpeira nas áreas rurais está envolvida: com empresas de mineração; nas áreas indígenas; na fronteira internacional; em relação à tecnologia de lavra e beneficiamento; em relações trabalhistas e empresariais; na comercialização do produto; envolvendo a poluição, a degradação ambiental e o meio ambiente urbano (já mencionado anteriormente).

Enfim, lidar com gestão de recursos naturais implica em assumir que o conflito pode ser um dos elementos do problema a ser enfrentado, às vezes o mais intrincado deles.

Abordagem participativa⁷

Essa metodologia, considerada uma forma alternativa de encaminhamento para solução de disputas e/ou para estabelecer planos e compromissos, vem sendo muito usada nos países desenvolvidos; algumas iniciativas também já vêm ocorrendo nos países em desenvolvimento. No Canadá, onde essa metodologia tem proliferado seu uso, ela é denominada *multistakeholder approach*. Como será mostrado a seguir, as iniciativas com abordagem participativa são processos decisórios que podem ter amplitudes variadas dependendo da abrangência das questões em foco. Tanto podem ser iniciativas localizadas, como podem abranger um país inteiro e até um conjunto deles. Como exemplo de iniciativas locais tem-se aquelas verificadas na África do Sul⁸, onde se encontra em andamento o projeto KWAGGA (*KWAGGA Mining and Minerals Project Policy*)⁹ e no Quênia, onde a organização não-governamental britânica, *Intermediate*

⁷ Abordagem participativa ou multiparticipativa é a tradução livre de *multistakeholder approach*. O significado da palavra *stakeholder* dá idéia de alguém que tem representatividade, portanto, a tradução também poderia ser multirepresentativa.

⁸ Carta do Sr. Grant Mitchell, *Senior Policy Analyst do KWAGGA*, a C. Peiter.

⁹ Para maiores detalhes ver <http://mepc.org.za>

Technology Development Group (ITDG), contratou serviços de apoio técnico ao *Mining and Energy Research Network* (MERN)¹⁰ para auxiliar as autoridades locais quanto à organização e à melhoria da produção de grande número de pedreiras artesanais de rochas para construção e também para aparelhamento das atividades (UGLOW, 1999 a; 1999 b; 1999 c).

Como iniciativas de âmbito nacional tem-se, por exemplo, o da conhecida *Whitehorse Mining Initiative* (THE WHITEHORSE MINING INITIATIVE, 1994), realizada no Canadá a partir de 1992 e, embora não tenha sido colocado em prática, a proposta da chamada *Iniciativa de Ouro Preto*, no Brasil. Estimulado pelas notícias sobre o WMI e tendo conseguido recursos para testar a hipótese de propor algo semelhante no Brasil, o Centro de Tecnologia Mineral (CETEM) organizou um *workshop* internacional em Ouro Preto¹¹, em março de 1998.

IMPLEMENTAÇÃO DA METODOLOGIA

Quadro diagnóstico da situação

O município de Santo Antonio de Pádua tinha um PIB de menos de 4 mil dólares, em 1996 (SECPLAN, 1999). No entanto, na classificação dos municípios, segundo o Índice de Qualidade dos Municípios – IQM¹², ocupa o 14º lugar dentre os 91 do Estado. Tudo indica que a diferença deve ser atribuída à boa distribuição de renda propiciada pelo setor de produção mineral, maior empregador de mão-de-obra no município. Embora os registros do Anuário Estatístico do Estado do Rio de Janeiro de

mineral¹³ e 83 no de transformação, totalizando 124 (contra 174 da maior cidade da região, Itaperuna), o consumo de energia elétrica industrial em Pádua é superior ao do município vizinho¹⁴.

Relacionamento e posturas dos intervenientes na atividade mineral local em 1996/97

A tabela 2 procura sintetizar esquematicamente a situação das relações bilaterais entre os intervenientes à época do fórum, explicitando as alianças, disputas ou desentendimentos e interrogações daquele momento. Foi usado um artifício de diferenciação de coloração nas quadrículas da tabela, para permitir uma avaliação visual imediata da qualidade das relações bilaterais analisadas: os tons mais escuros indicam situações de dúvida (fundo preto) e de maior disputa de interesses (fundo cinza escuro), enquanto que os mais claros traduzem situação de diálogo ou até de parceria constituída. Percebe-se que a tonalidade escura prevalece, indicando uma situação geral turbulenta. Esses elementos certamente foram seriamente considerados para que o DRM e o CETEM procurassem acertar um acordo para superar a crise reinante. O autor considera ter sido esse o primeiro passo na direção do reconhecimento de que somente uma abordagem, realizada com a participação de todos os interessados, poderia retomar o processo de legalização e modernização da mineração no noroeste do Estado do Rio de Janeiro.

Tabela 2 - Evolução da situação das relações bilaterais entre os principais intervenientes da produção mineral no noroeste fluminense: 1997-2000.

| ORGANIZAÇÕES INTERVENIENTES | DRM | ASSOCIAÇÃO PRODUTORES | PREFEITURA | FIRJAN |
|-----------------------------|---|---|--|---|
| CETEM | Ruim, desconfiança mútua | Boa, mas em dúvida quanto ao futuro | Impossível de avaliar no momento | Impossível de avaliar no momento |
| SEBRAE | Boa, mas em dúvida quanto ao futuro | Boa, mas em dúvida quanto ao futuro | Deteriorou com perda de contato com a nova administração da Prefeitura | Boa. Organizações coligadas |
| DNPM | Boa, mas comprometida pela crise do órgão | Indiferente | Indiferente | Indiferente |
| PREFEITURA | Deteriorou com a entrada nova administração da Prefeitura | Deteriorou com a entrada nova administração da Prefeitura | Não aplicável | Indiferente |
| SINDICATO (em organização) | Impossível de avaliar no momento | Ruim, grupos disputando a posição de representação | Impossível de avaliar no momento | Boa relação, contando com o apoio para formação do novo sindicato |

1997 indiquem apenas a existência de 41 estabelecimentos industriais no setor extrativo

¹⁰ Antes conhecido como Mining and Environment Research Network quando se localizava na Universidade de Bath, Reino Unido.

¹¹ Mineração e Desenvolvimento Sustentável – Ouro Preto Workshop, realizado com patrocínio da CIDA/Canadá, CNPq/Brasil,

Escola de Minas/UFOP, APROMIN e ALCAN. C. Peiter (organizador).

¹² Calculado pela Fundação CIDE e que se propõe a avaliar os municípios segundo seu potencial e condições para o desenvolvimento. (<http://www.cide.rj.gov.br>)

As principais dúvidas sobre como efetivar uma metodologia de superação da crise e as parcerias necessárias para viabilizá-la eram:

- ◆ com que recursos contar?
- ◆ quais as prioridades de atuação?

¹³ O DRM registra 73 instalações de aparelhamento/serrarias no município.

¹⁴ Vide <http://www.cide.rj.br>, Quadro de consumo de energia elétrica por município, em 1997.

- ◆ como formar as equipes de trabalho e como suplantam as desavenças anteriores?
- ◆ que procedimentos seguir para ter a confiança dos mineradores e demais intervenientes?

O CETEM e o DRM¹⁵ perceberam que a obtenção de recursos para dar início a um trabalho conjunto daria motivação para uma real aproximação entre os técnicos das agências e que um programa de assistência técnica poderia suprir algumas das inúmeras deficiências dos mineradores locais, recobrando a confiança mútua. Decidida a primeira etapa da estratégia, buscou-se encontrar qual agência de fomento teria linha de apoio para tal tipo de atividade. A possibilidade encontrada foi o recém criado programa RECOPE - RJ¹⁶.

Assistência técnica como instrumento de gestão

A proposta de fomento à formação de redes cooperativas de pesquisa dentro do Estado do Rio de Janeiro, promovida pelo programa RECOPE RJ¹⁷, apresentava uma oportunidade sob medida para que uma parceria de trabalho estável e de longo prazo se estabelecesse entre organismos do governo. Os principais objetivos propostos foram a prestação de assistência técnica aos produtores de rochas ornamentais do município de Santo Antônio de Pádua, e a realização de outros estudos básicos tais como levantamento geológico-estrutural das Serras do Catete e do Bonfim (escala 1:20.000) e caracterização tecnológica das matérias primas e produtos feitos com Pedra Miracema e Madeira.

tendo sido aceita e promulgada através do Decreto n. 25.649¹⁸, que estabeleceu a forma de coordenação das ações do governo do estado quanto às atividades extrativas de recursos minerais nas regiões norte e noroeste fluminense. O governador incumbiu este Grupo de Trabalho de responsabilidades amplas (Decreto n. 25.649, Art. 1, §:2º) quanto à coordenação, controle, fomento, disciplinamento e desenvolvimento para o setor mineral, com ênfase ao segmento de rochas ornamentais. O Decreto também estabeleceu as secretarias e órgãos do Estado que deveriam constituir o GT, e convidou a FIRJAN, a RETECMIN, o SEBRAE, as Prefeituras e os empresários locais a participarem.

A criação de um subgrupo de Santo Antônio de Pádua reforçou e dinamizou a implementação da metodologia de abordagem participativa, na medida em que planos e demandas por recursos passariam a ser discutidos num subgrupo voltado à questão local, sendo em seguida apresentados à plenária do GT para discussão, decisão e implementação de propostas com a presença de intervenientes representantes de organismos de grande poder de intervenção.

Em função dessa nova atitude e do esforço empreendido pelos agentes de governo e representantes dos produtores locais, houve uma sensível evolução no quadro de relações. A situação apresentada na tabela 3 permite avaliar que a metodologia de abordagem participativa, associada a outras ações implementadas na gestão dos recursos minerais na região, ocasionaram ou estimularam

Tabela 3. Situação dos relacionamentos entre intervenientes em 2000

| ORGANIZAÇÕES INTERVENIENTES | DRM | ASSOCIAÇÃO PRODUTORES | PREFEITURA | FIRJAN |
|-----------------------------|----------------------------------|---|---|--|
| CETEM | Muito boa: Parceria estabelecida | Boa em função da assist.técnica fornecida | Boa relação com a nova administração | Boa Estabelecida parceria |
| SEBRAE | Inalterada: Boa | Inalterada: Boa | Boa relação com a nova administração Boa | Inalterada Boa |
| DNPM | Inalterada: Boa | Inalterada: Indiferente | Inalterada: Indiferente | Inalterada Indiferente |
| PREFEITURA | Muito boa: Parceria estabelecida | Inalterada: problemas políticos locais | não aplicável | Melhorou: Maior aproximação |
| SINDICATO (em organização) | Boa: Comunicação estabelecida | Inalterada: Mas há grupos tentando acordo | Boa: interação política | Inalterada Boa com apoio da FIRJAN para sua criação |

Implementando a abordagem participativa

Foi proposta pela SEINPE, junto ao gabinete do governador, a formação de um grupo de trabalho,

mudanças positivas nas relações entre intervenientes, passo essencial para que qualquer tipo de negociação evolua entre os mesmos.

CONCLUSÃO

A principal contribuição do presente trabalho diz respeito à avaliação da eficácia da abordagem participativa na gestão de recursos minerais em condições que envolvem grande número de pequenos produtores. Por outro lado, entende-se que a riqueza das experiências colhidas na evolução do processo de gestão gerou várias conclusões que também devem ser descritas a título de colaborar

¹⁵ Este acordo foi fechado por Carlos C. Peiter, representando o CETEM, e por Kátia Mansur, representando o DRM.

¹⁶ Programa Redes Cooperativas de Pesquisa iniciado pela FINEP e regionalizado mediante convênio entre a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro - FAPERJ e a própria FINEP.

¹⁷ A proposta básica do RECOPE não era a de formar uma rede para um projeto único e sim fomentar através de um primeiro projeto a criação de redes com vida mais longa que pudessem atuar em várias demandas estaduais dos setores a que se propunham atender.

¹⁸ Vide decreto no ANEXO B.

com a compreensão da complexa relação entre mineração, sociedade e meio ambiente.

Diante do exposto nos capítulos anteriores, dois aspectos podem ser julgados: a implementação da gestão com abordagem participativa propriamente dita e os resultados que a mesma propiciou. Quanto a implementação da abordagem, pode-se afirmar que:

- a abordagem participativa induziu a criação da rede cooperativa RETECMIN, congregando as agências e instituições de pesquisa do governo;
- em decorrência da criação da RETECMIN, renovou-se o clima de confiança entre organismos públicos e produtores, o que permitiu a retomada do processo de gestão interrompido por ações punitivas ocorridas e desvinculadas da proposta participativa;
- a confiança que esta iniciativa disseminou, certamente colaborou na decisão do governo estadual de formar um grupo de trabalho para a questão mineral da região noroeste; e
- deve-se considerar um ganho da abordagem participativa, a inclusão de vários novos intervenientes nas discussões sobre a questão mineral do noroeste do estado.

Por outro lado, a estratégia de abordagem participativa provou ser correta ao propiciar condições para iniciar uma mudança radical do perfil da produção mineral no noroeste do Estado em vista dos seguintes resultados práticos:

- diagnóstico claro da atividade,
- espaço de negociação de alto nível onde a maioria dos intervenientes pode expor e discutir suas demandas;
- conta-se com apoio técnico e de estudos básicos
- diminuir a percepção negativa generalizada quanto à mineração promovendo a preocupação no sentido de uma intervenção modificadora e não simplesmente limitadora da atividade mineral;
- as licenças ambientais de operação serão obtidas através de compromissos acertados nos Termos de Ajuste de Conduta;
- estudos complementares, em execução, sobre a possibilidade de transformação da produção mineral da região num *cluster* baseado nas rochas ornamentais, servindo para orientar os planos de intervenção de desenvolvimento;

- programas de apoio ao pequeno e micro empresário que vem favorecendo projetos e treinamentos de alguns produtores;

- decretos e portarias das agências governamentais, abrindo oportunidades importantes para a modificação do perfil da atividade, favorecendo a compra de máquinas e de equipamentos com isenção de impostos e estimulando o caráter associativo entre os produtores para novos empreendimentos; e

- em função da evolução positiva do apoio ao produtor mineral do noroeste fluminense e das condições oferecidas, estão em marcha negociações para suplantarem dificuldades de relacionamento entre grupos de produtores e dispor de representações mais atuantes.

Esses desdobramentos certamente não teriam ocorrido fora do ambiente criado pela gestão com abordagem participativa, visto que as circunstâncias encontradas no noroeste do Estado do Rio de Janeiro não indicavam que o uso simples e direto dos mecanismos de comando e controle seriam suficientes para alterar a realidade ambiental e muito menos a social e econômica.

Quanto à questão da eficácia dos instrumentos de comando e controle suficientes para lidarem com a questão ambiental, conseqüente de informalidade tão disseminada quanto numerosa, comprovou-se que os mesmos isoladamente, não permitiriam encaminhar soluções de longo prazo. Ficou patente que, numa primeira etapa, somente uma ação de intervenção branda para o desenvolvimento da mineração no noroeste do Estado teria chances de reformular a realidade local. Dadas todas as condições para a regularização das atividades, aqueles instrumentos se tornam então indispensáveis para a manutenção da sustentabilidade alcançada.

Como resultados práticos alcançados, pode-se confirmar que os produtores locais estão negociando com as agências do governo do Estado condições e apoio para que, através de Termo de Ajuste de Conduta (TAC) se habilitem a receber as licenças de operação (LO) das pedreiras e os Atestados de Adequação para as pequenas serrarias. Houve nítido crescimento de confiança mútua a partir da iniciativa de cerca de 40 produtores locais que, com a assistência técnica do CETEM, construíram e colocaram em operação em sua serrarias pequenas unidades de tratamento de efluentes, que passaram a evitar a poluição dos recursos hídricos locais e evitaram que a seca interrompesse ou prejudicasse as atividades de beneficiamento durante a longa estação de estiagem da região.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANUÁRIO MINERAL BRASILEIRO 1997. Brasília: Departamento Nacional da Produção Mineral, 1998.

CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL. *Projeto de assistência técnica a pedreiras em Santo Antônio de Pádua- RJ*. Rio de Janeiro: CETEM/CNPq, 1997

- (Relatório Final ao Convênio SEBRAE – CETEM, RT 68/97).
- DEPARTAMENTO DE RECURSOS MINERAIS. *Projeto rochas ornamentais*. Pedra Miracema: a rocha ornamental de Santo Antônio de Pádua – diagnóstico preliminar. Niterói: DRM, jul. 1992. 40 p.
- DEPARTAMENTO DE RECURSOS MINERAIS. *Projeto rochas ornamentais*. Relatório de atividades em 1992. Niterói: DRM, mar. 1993. 18 p.
- INTERMEDIATE TECHNOLOGY DEVELOPMENT GROUP a. *Developing realistic policy guidelines on artisanal quarrying for encouraging good practices*. s.l., s. ed., [1999?].
- INTERMEDIATE TECHNOLOGY DEVELOPMENT GROUP b. *Policies and practices in artisanal stone quarrying: reconciling livelihoods and the environment*. s.l., s. ed., [1999?].
- MITCHELL, B. *Resource and environmental management*. Harlow: Longman, 1997. 298 p.
- MITCHELL, B. ed. *Resources and environmental management in Canada – addressing conflict and uncertainty*. Don Mills/Ontario: Oxford University, 1995. 445 p.
- REDE COOPERATIVA DE PESQUISA SOBRE EXPLORAÇÃO E USO DE BENS MINERAIS EMPREGADOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL E MITIGAÇÃO DE SEUS IMPACTOS AMBIENTAIS. *Relatório semestral de andamento de projeto*. Rio de Janeiro: CETEM/DRM/IG-UFRJ/INT/UENF, mar.1999 a.
- REDE COOPERATIVA DE PESQUISA SOBRE EXPLORAÇÃO E USO DE BENS MINERAIS EMPREGADOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL E MITIGAÇÃO DE SEUS IMPACTOS AMBIENTAIS. *2º Relatório de andamento: abril a setembro de 1998*. Rio de Janeiro: CETEM/DRM/IG-UFRJ/INT/UENF, out.1999 b.
- SÁNCHEZ, L.E.; SILVA, S.S.; PAULA, R.G. Gerenciamento ambiental e mediação de conflitos: um estudo de caso. In: CONGRESSO ÍTALO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE MINAS, 2, 1993. São Paulo. *Anais ...* São Paulo: Epusp, 1993. p. 475-496.
- UGLOW, D. a. *Market and profitability factors for artisanally quarried stone: potential constraints to environmental and operational improvements*. Bath: Mining and Environment Research Network, June 1999. 13 p. (A report for DFID/ITDG) .
- _____ b. *Mitigating the environmental impact of artisanal quarrying: consideration of awareness and incentives*. Bath: Mining and Environment Research Network, June 1999. 19 p. (A report for DFID/ITDG) .
- _____ c. *Optimizing resource utilization in artisanal stone quarrying: the development and dissemination of appropriate and sustainable extraction and processing technologies*. Bath: Mining and Environment Research Network, Jun. 1999. 16 p. (A report for DFID/ITDG).

APROVEITAMENTO DE REJEITOS DE PEDREIRAS E FINOS DE SERRARIAS DE ROCHAS ORNAMENTAIS BRASILEIRAS¹

Salvador Luiz Matos de Almeida² e Ivan Falcão Pontes²

²Pesquisadores do CETEM/MCT

Av. Ipê, 900 – Cidade Universitária – Ilha do Fundão – 21.941-590 – Rio de Janeiro - RJ
Fone: (21) 3865-7290 - Fax: (21) 260-2837 - E_mail: salmeida@cetem.gov.br, ifalcao@cetem.gov.br

RESUMO

O presente trabalho se refere a estudos realizados com rejeitos de uma pedreira de Santo Antônio de Pádua – RJ, bem como com os finos de serragem de mármore e granitos provenientes da serraria da Marbrasa situada em Cachoeiro de Itapemirim – ES.

O objetivo foi estudar a viabilidade técnica de se aproveitar os rejeitos de pedreiras e resíduos de serrarias, gerando receita para as empresas, bem como reduzir o impacto ambiental desses rejeitos acumulados nas pedreiras, serrarias e nos cursos de água.

Foram coletadas amostras numa pedreira em Santo Antônio de Pádua (rejeito de lavra e sobras de serraria) e num tanque de decantação de finos de serragem em Cachoeiro de Itapemirim – ES. Para estabelecer as características das matérias-primas, foram feitos estudos de caracterização mineralógica/tecnológica das amostras. Os resultados das análises químicas/ mineralógicas das amostras da Pedreira de Santo Antônio de Pádua, mostraram que as mesmas são iguais, constituídas principalmente por feldspato (62%), quartzo (25%), mica (7%) e hornblenda (5%). A amostra dos finos de serragem de Cachoeiro de Itapemirim apresentou a seguinte composição: dolomita (29%), feldspato (47%), quartzo (14%), e biotita (1%), outros (9%). Este material apresenta duas características inadequadas para usos industriais, que são: alto teor de óxido de ferro (6,63%) e granulometria muito fina (cerca de 80% abaixo de 200 malhas).

Foram feitos estudos de beneficiamento nas amostras, visando a sua utilização em:

- agregados para a construção civil – rejeitos de pedreira de Santo Antônio de Pádua
- argamassa, pré – moldados, indústria cerâmica – finos de serraria do Espírito Santo

Os resultados obtidos para utilização da amostra como agregado de construção civil, foram bastante satisfatórios, ou seja, uma brita apresentando bons resultados de índice de forma, abrasão *Los Angeles* e resistência à compressão. Um estudo de pré-viabilidade econômica para operação de uma usina de brita com capacidade de 30.000 m³/ano, projetou um investimento total de R\$ 675.000,00 gerando uma taxa de retorno de 12% ao

ano, e período de recuperação de investimento no prazo de 4 anos.

Com a amostra de finos de serragem foram feitos estudos para redução do teor de ferro, utilizando-se diferentes processos, tais como, separação magnética, concentração gravítica e ciclonação. Destas rotas estudadas, a que apresentou melhor resultado foi a separação magnética, com a redução do teor de ferro de até 70%. A seguir foram feitos estudos de aplicações industriais do resíduo, para a indústria de construção civil, indústria de cerâmica vermelha e indústria de cerâmica de revestimento, tendo-se obtido resultados bastantes promissores.

INTRODUÇÃO

Na lavra e no processamento de rochas ornamentais brasileiras, verifica-se em todas suas etapas quantidades expressivas de perdas, ou seja, na lavra, no beneficiamento e no acabamento. Isto ocorre em grande parte devido aos métodos arcaicos utilizados, ou seja, poucas empresas do setor utilizam as novas tecnologias existentes.

Em Santo Antônio de Pádua a lavra é realizada com explosivos gerando grandes quantidades de rejeitos. O beneficiamento é inicialmente realizado com o uso de ferramentas manuais nas próprias pedreiras, sendo o bloco deslocado e estas placas a seguir transportadas para as serrarias, onde as mesmas são cortadas através de disco diamantado, nas dimensões utilizadas pelo comércio. Esta metodologia gera grandes quantidades de rejeitos, tanto nas pedreiras como nas serrarias, com um volume total estimado em cerca de 70%.

Nas pedreiras de mármore e de granitos, embora a lavra seja feita em alguns casos com fio diamantado, e o beneficiamento, em sua maioria, com teares, observa-se também desde a extração até o acabamento final, uma produção significativa de rejeitos que em média atinge valores de 40 a 50%.

Nas diversas visitas técnicas realizadas pela equipe do CETEM, em pedreiras de rochas ornamentais nos Estados do Rio de Janeiro, Minas Gerais, Goiás, e Espírito Santo, observou-se que os operários que trabalham neste setor, são provenientes de outras atividades, geralmente do setor agrícola/pecuária, constituindo assim, mão de obra não qualificada. Além disto, a maioria das empresas são de pequeno porte, e não acompanham os avanços tecnológicos que vão surgindo no setor. Isto acarreta baixa produtividade nas pedreiras e consequentemente elevado percentual de perdas.

¹ Este trabalho foi extraído da tese de Doutorado dos Autores, apresentado à USP sob a orientação dos professores Laurindo de Salles Leal Filho e Antônio Stellin Júnior, respectivamente.

O CETEM vem desde 1996 em parceria com outros órgãos/instituições, tais como, SEBRAE, FIRJAN, SENAI, INT, UFRJ etc., realizando programas de apoio à micro e pequena empresa, visando aumentar a produtividade com redução das perdas e aumentar a exportação, além de introduzir novos equipamentos/tecnologias, e alternativas de aproveitamento dos rejeitos. Esses programas foram desenvolvidos nas regiões de Santo Antônio de Pádua e Porciúncula no Rio de Janeiro, Pirenópolis em Goiás e Cachoeiro de Itapemirim no Espírito Santo. Foram feitos também estudos de melhoria nos efluentes de serraria, tendo sido construídos diversos tanques de decantação na região de Santo Antônio de Pádua, obtendo-se efluente limpo e com reaproveitamento da água no processo.

Houve assim, uma melhoria real nas operações de lavra e beneficiamento, e sobretudo uma conscientização maior sobre a necessidade do cumprimento de normas de segurança e ambientais. Para fomentar a utilização de rejeitos seria necessário buscar incentivo do poder público, para sua utilização em obras civis municipais, estaduais e federais, tais como, casas populares, calçamento de ruas e avenidas, pisos diversos com bloquetes, além de obras de saneamento que utilizem tijolos e manilhas feitos com rejeitos de pedreiras e serrarias locais.

O projeto tem um apelo ambiental indiscutível, visto que promoverá a utilização de rejeitos que hoje são gerados em quantidades muito significativas, e são dispostos de maneira desordenada, gerando um enorme impacto ambiental. A necessidade de cumprir às exigências de manejo e disposição de rejeitos sólidos produzidos nas atividades industriais, vem sendo imposta, nas últimas décadas, pelas leis ambientais e movimentos ecológicos em todo mundo, tornando-se um grande desafio para os sistemas produtivos.

PESQUISAS REALIZADAS

Pesquisa A. Rejeitos de pedra e sobras de serrarias - Santo Antônio de Pádua - RJ

O município de Santo Antônio de Pádua situa-se ao noroeste do Estado do Rio de Janeiro, cerca de 260 km da capital. Possui uma quantidade expressiva de pedreiras de rochas ornamentais, cujas aplicações principais são no revestimentos de pisos e paredes. A principal atividade econômica da região é a extração de pedra, gerando mais de 6.000 empregos, o que representa mais que a agricultura e pecuária, atividades tradicionais no local.

A rocha existente na região e comercializada é um granulito milonitizado que deslaca com facilidade. Após o beneficiamento, as pedras são utilizadas principalmente como: revestimento de paredes/muros/pilastras/colunas, piso de varandas/garagens/jardins, e paralelepípedos.

Estima-se que a perda total na lavra e no beneficiamento seja de 70%, valor este bem elevado, que configura uma exploração mineral predatória e dentro de pouco tempo poderão comprometer as reservas da maior riqueza do município.

Os produtos normalmente produzidos são: placa ou lajota de 47x47x4 cm, bloquinho de 23x11,5x4 cm e lajinha de 23x11,5x1,5 cm que são comercializados principalmente para os estados de SP, RJ e MG.

Este trabalho teve como objetivo estudar o aproveitamento dos rejeitos de lavra e de beneficiamento das pedreiras de Santo Antônio de Pádua, através de britagem/classificação dos mesmos para produzir agregados para construção civil, minimizado o impacto ambiental destes rejeitos acumulados nas pedreiras, serrarias e nos cursos d'água. O projeto apresenta ainda a vantagem de não ter custos com decapeamento, perfuração, desmonte e transporte.

Caracterização da rocha

Foram coletadas 2 t de amostra e seguir feita sua caracterização mineralógica, que apresentou os seguintes resultados: quartzo (25%), feldspato potássico (25%), albita (26%), anortita (11%), biotita (7%), hornblenda (5%), outros (1%). Concluiu-se que as duas amostras, rejeitos de pedra e sobras de serraria são essencialmente iguais, compostas predominantemente por feldspato, quartzo, mica e hornblenda e que os feldspatos potássicos (microclínios) e o sódico (albita) predominam sobre o cálcico (anortita).

A caracterização tecnológica das amostras apresentou os seguintes resultados:

- densidade: 2.732kg/m³
- porosidade: 0,65%
- absorção d'água: 0,24%
- resistência à compressão uniaxial: 143,5 Mpa
- resistência à flexão: 13,43 Mpa
- desgaste *Amsler* : 1,47 mm.

A maioria dos valores encontrados estão dentro das especificações para rochas ornamentais, apenas o resultado do desgaste *Amsler* apresentou um valor um pouco acima do recomendado, porém não restringe seu uso para piso de baixo tráfego.

Ensaio de britagem

Foram realizados vários ensaios de britagem com as amostras de Pádua utilizando-se os britadores de mandíbulas da Faço modelos 2015 e 3020. Para efeitos comparativos foram feitos também ensaios com material utilizado como brita nas construções do Rio de Janeiro, gnaisse da pedra Convém. Na figura 1 são mostrados os resultados obtidos da britagem feita no britador 3020 com os materiais das pedreiras de Pádua e Convém.

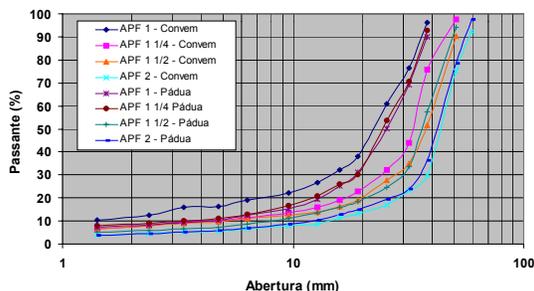


Figura 1- Comparação entre as distribuições granulométricas obtidas no britador 3020 com os materiais das pedreiras Pádua x Convém

Pelas curvas obtidas verifica-se que os materiais têm um comportamento bem típico de um granito/gnaiss. As curvas da Convém concordam muito bem com as de Pádua, apesar deste material ser milonítico e ter sofrido deslocamento e serragem nas serrarias, apresentando-se ao britador com uma forma pré-determinada e com a xistosidade orientada em relação às dimensões principais da partícula alimentada. Portanto, estas circunstâncias não afetaram a distribuição granulométrica, somente ocasionaram um pequeno aumento na qualidade de finos de Pádua em relação a Convém.

Índice de forma das partículas/desgaste por abrasão Los Angeles

Foi determinado o índice de forma da brita seguindo a norma NBR-7809/82, onde se concluiu que as partículas apresentam forma cúbica.

O resultado de abrasão Los Angeles deu 54,6% valor este um pouco acima do recomendado pela norma NBR 64465 (50%), sendo recomendada para obras de pequeno e médio porte.

Ensaio de compressão em concreto

Determinou-se a resistência à compressão do concreto para 28 dias, e o resultado obtido foi de 23 Mpa, que também enquadra a brita numa classe média, para ser usada em obras civis de pequeno e médio porte, que é a demanda da região.

Usina de brita

Projetou-se uma usina de capacidade de produção de 10 m³/h, operando 10 h/d durante 300 d/a, logo a produção anual será de 30.000 m³/a. Na figura 2 é mostrado o fluxograma da usina de brita.

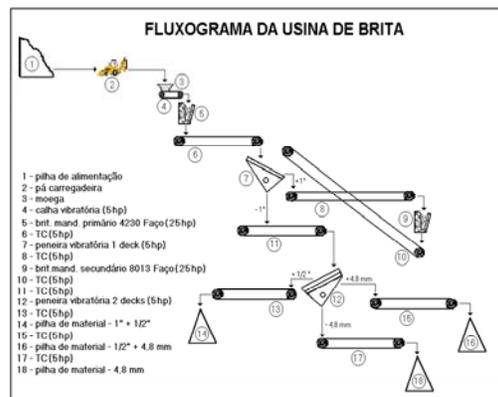


Figura 2 – Fluxograma da usina de brita

Obtêm-se então três tipos de materiais de granulometrias diferentes:

- fração - 1" + 1/2", brita 1 (48%)
- fração - 1/2" + 4,8 mm, brita 0 (29%)
- fração - 4,8 mm, pó-de-pedra (23%).

A brita 1, produto mais nobre, é usada principalmente em concreto, a brita 0 em concreto e pré-moldados e o pó-de-pedra em pré-moldados.

Estudo de pré-viabilidade econômica

A análise do fluxo de caixa apresentou os seguintes resultados:

- valor presente do projeto é de R\$ 338.303,00
- a taxa interna de retorno é de 12,1% ao ano
- tempo de recuperação do investimento é de 4 anos.

Pesquisa B. Aproveitamento de finos gerados nos teares de Cachoeiro de Itapemirim – ES

A industrialização de mármore e granitos passa por três importantes etapas: a extração de blocos do maciço rochoso ou de matacões (nas pedreiras), o beneficiamento ou serragem de chapas semi-acabadas (nas serrarias), e acabamento final ou polimento e corte das chapas em tamanho padrão (na linha de polimento).

O beneficiamento primário das rochas ornamentais ocorre nas serrarias, durante a etapa de serragem de blocos brutos, provenientes das pedreiras. Os blocos geralmente são desdobrados em chapas de espessura variável nos teares. Esse desdobramento produz grandes quantidades de rejeitos nas serrarias do Espírito Santo, que são lançados no meio ambiente, causando impactos ambientais e assoreamento dos rios da região.

Amostragem

Foram coletadas amostras no tubo de descarga da lama na barragem de rejeitos da Marbrasa em Cachoeiro de Itapemirim-ES (figura 3). A amostra de lama (resíduo) é proveniente dos teares da serraria, e totalizaram 307 kg (a úmido).

Os estudos de purificação da amostra, tiveram por meta a remoção de ferro, contaminante indesejável, enquanto que os ensaios realizados para aplicações industriais, visaram o aproveitamento desses rejeitos, nas indústrias de cerâmica vermelha (tijolos, telhas, lajotas etc.), nas indústrias de cerâmica de revestimento (principalmente pisos), e nas indústrias de construção civil (blocos estruturais, pisos para pavimentação de áreas e argamassas).



Figura 3 – Amostragem no tubo de descarga da lama na barragem de rejeito

Preparação da amostra

Para início dos estudos de beneficiamento, foi necessária a desagregação do material, utilizando-se nesta etapa, peneira de 48 malhas. Com a amostra desagregada foi construída uma pilha de homogeneização, e em seguida foi realizado o quarteamento, com retirada de alíquotas, visando a realização dos estudos de caracterização química e mineralógica; concentração gravítica; separação magnética e estudos de ciclonagem, conforme mostra o fluxograma apresentado na Figura 4.

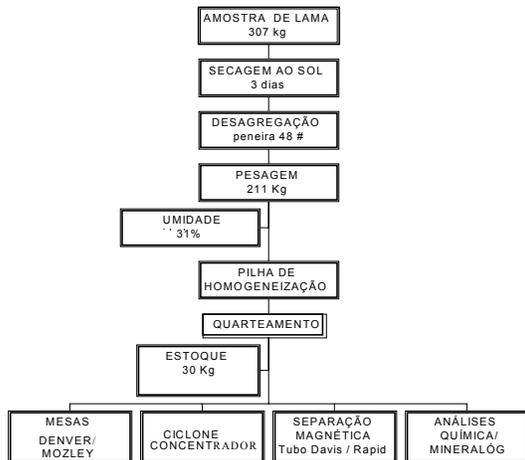


Figura 4 – Fluxograma usado na preparação da amostra

Caracterização química e mineralógica

A caracterização mineralógica do resíduo foi realizada através de análises ao microscópio óptico, para a determinação de todos os minerais presentes.

Esses estudos foram complementados por análises mineralógicas, através de difração de Raios X e análises químicas. Os resultados obtidos estão apresentados na tabela 1.

Tabela 1 - Análise química e mineralógica do resíduo

| ÓXIDOS | (%) | MINERAIS | (Peso %) |
|--------------------------------|-------|-------------|----------|
| SiO ₂ | 35,5 | Dolomita | 29 |
| Al ₂ O ₃ | 8,22 | Quartzo | 14 |
| Fe ₂ O ₃ | 6,63 | Albita | 11 |
| TiO ₂ | 0,96 | Anortita | 15 |
| K ₂ O | 3,44 | Microclínio | 21 |
| MgO | 6,59 | Biotita | 1 |
| MnO | 0,08 | Anfibólio | < 1 |
| CaO | 12,62 | Outros | 9 |
| Na ₂ O | 3,15 | TOTAL | 100 |
| Perda ao Fogo | 14,5 | | |

Pelos dados apresentados na tabela 1 verifica-se que a amostra tem alto teor de Fe e contém dolomita, indicando que no resíduo além de finos de granito existe também a presença de finos de mármore. Isto se deve, que a Marbrasa deposita no seu tanque de decantação finos de serragem dos dois materiais, granito e mármore.

Separação magnética de baixa e alta intensidade

Foram realizados ensaios de separação magnética de baixa e alta intensidade utilizando-se respectivamente o tubo Davis e o separador magnético Boxmag Rapid. Neste equipamento, as condições dos ensaios foram:

- campo magnético: 8.000 a 16.000 Gauss
- matriz: lã de aço
- alimentação: 200 g
- % de sólidos: 10
- granulometria: material abaixo 150 malhas.

Os resultados da separação magnética estão mostrados nas tabelas 2 e 3.

Tabela 2 – Resultados da separação magnética com o tubo Davis

| Teste N ^o | Campo Mag. (Gauss) | Distribuição Massa (% Peso) | | Fe (%) | | % de remoção de Fe |
|----------------------|--------------------|-----------------------------|------|--------|----------|--------------------|
| | | Não Mag. | Mag. | Mag. | Não Mag. | |
| 1 | 1550 | 96,63 | 3,37 | 43,3 | 1,6 | 50,0 |
| 2 | 1700 | 96,59 | 3,41 | 48,3 | 1,6 | 50,0 |
| 3 | 1800 | 96,45 | 3,55 | 46,5 | 1,6 | 50,0 |
| 4 | 2000 | 96,24 | 3,76 | 40,8 | 1,5 | 53,1 |
| 5 | 2100 | 95,88 | 4,12 | 15,8 | 1,4 | 56,3 |
| 6 | 2300 | 94,41 | 5,59 | 34,2 | 2,5 | 21,9 |
| 7 | 3200 | 94,50 | 5,50 | 51,9 | 2,5 | 21,9 |
| 8 | 3800 | 94,38 | 5,62 | 43,1 | 2,2 | 31,3 |

Tabela 3 - Resultados da separação magnética com o separador Boxmag Rapid

| Teste N ^o | Campo Mag. (Gauss) | Distribuição Massa (% Peso) | | Fe (%) | | % de remoção de Fe |
|----------------------|--------------------|-----------------------------|-------|---------|-------|--------------------|
| | | Não Mag. | Mag. | Inicial | Final | |
| 1 | 8.000 | 75,83 | 24,17 | 3,2 | 1,2 | 62,5 |
| 2 | 10.000 | 68,34 | 31,66 | 3,2 | 0,77 | 75,94 |
| 3 | 12.000 | 67,89 | 32,11 | 3,2 | 1,4 | 56,25 |
| 4 | 14.000 | 67,88 | 32,12 | 3,2 | 1,1 | 65,62 |
| 5 | 16.000 | 67,54 | 32,46 | 3,2 | 0,67 | 79,06 |

Estudo para utilização do resíduo na indústria cerâmica

Foram encaminhados à Divisão de Tecnologia Mineral do NUTEC / Fortaleza / CE, 40 kg de material, sendo 10 Kg de amostra beneficiada com teor de 0,7% Fe, 10 kg de amostra beneficiada com teor de 3,2% Fe e 20 kg de amostra não beneficiada com teor de 11,84% Fe, visando estudar utilizações mais nobres do resíduo, nas indústrias de construção civil e cerâmica, possibilitando agregação de valores.

Os ensaios iniciais visaram o aproveitamento do resíduo na indústria de cerâmica vermelha, para produção de tijolos maciços, tijolos vazados, telhas, lajotas etc. Na construção civil, os estudos foram dirigidos para a produção de blocos estruturais. Estes ensaios são padronizados pelas normas brasileiras da ABNT. Os tipos de ensaios realizados foram: retração, módulo de ruptura (Figura 5), granulometria e absorção de água.

A argila utilizada como aglomerante do resíduo foi proveniente da Cerâmica Cascavel S.A., localizada na região metropolitana de Fortaleza e foi moída num moinho de bolas de porcelana, sendo a mesma colocada a uma granulometria abaixo de 20 malhas.

Ensaio 1: preparou-se uma mistura com 90% de argila e 10% do resíduo não beneficiado. Em seguida, este material foi molhado com cerca de 10% de água e colocado num molde, onde foi prensado com uma força compressiva de 2,5 toneladas. A partir da mistura anterior, foram produzidos 12 corpos de prova, conforme mostra a figura 5. Em seguida, os corpos de prova foram colocados na temperatura ambiente para secar por 24 h, visando aumentar a resistência mecânica. Estes corpos de prova, foram secados ou queimados, conforme é mostrado a seguir, visando avaliar a retração, absorção de água, cor de queima e resistência à flexão (módulo de ruptura).

- corpos de prova - secados a 70° C
- 4 corpos de prova - queimados a 900° C
- 4 corpos de prova - queimados a 1.100° C

Ensaio 2: foi realizado da mesma forma que o ensaio 1, apenas ocorrendo mudança na percentagem de utilização do resíduo, que neste caso foi de 20%.

Ensaio 3: foi realizado da mesma forma que os ensaios 1 e 2, diferenciando apenas no percentual de utilização do resíduo, que foi de 30%.



Figura 5 - Corpos de prova para medição da resistência à flexão (módulo de ruptura)

As tabelas 4 e 5 apresentam os resultados obtidos nos ensaios de módulo de ruptura, retração de secagem e absorção de água das amostras beneficiada e sem beneficiamento nas diferentes proporções de resíduo.

Tabela 4 - Amostra beneficiada

| Tipos de Ensaio | seca a 70°C | | queimada a 900°C | | | queimada a 1100°C | | |
|-----------------|---|-------------------------|---|-------------------------|----------------------|---|-------------------------|----------------------|
| | Módulo de Ruptura (Kg/cm ²) | Retração de secagem (%) | Módulo de Ruptura (Kg/cm ²) | Retração de secagem (%) | Absorção de água (%) | Módulo de Ruptura (Kg/cm ²) | Retração de secagem (%) | Absorção de água (%) |
| Resíduo 10% | 61,48 | 2,44 | 61,48 | 2,44 | 10,13 | 303,34 | 9,20 | 0,32 |
| Resíduo 20% | 51,39 | 2,03 | 51,39 | 2,03 | 10,33 | 317,54 | 8,72 | 0,30 |
| Resíduo 30% | 40,48 | 1,39 | 40,48 | 1,39 | 12,20 | 361,43 | 8,61 | 0,19 |

Tabela 5 - Amostra não beneficiada

| Tipos de Ensaio | seca a 70°C | | queimada a 900°C | | | queimada a 1100°C | | |
|-----------------|---|-------------------------|---|-------------------------|----------------------|---|-------------------------|----------------------|
| | Módulo de Ruptura (Kg/cm ²) | Retração de secagem (%) | Módulo de Ruptura (Kg/cm ²) | Retração de secagem (%) | Absorção de água (%) | Módulo de Ruptura (Kg/cm ²) | Retração de secagem (%) | Absorção de água (%) |
| Resíduo 10% | 59,06 | 1,99 | 78,23 | 2,95 | 9,27 | 225,34 | 7,89 | 1,45 |
| Resíduo 20% | 45,78 | 1,39 | 57,97 | 2,04 | 10,09 | 209,29 | 7,35 | 1,21 |
| Resíduo 30% | 39,61 | 1,04 | 48,65 | 1,73 | 10,37 | 193,16 | 7,02 | 1,11 |

CONCLUSÕES**A – Rejeito de Santo Antônio de Pádua - RJ**

- As amostras rejeitos de pedra e sobras de serraria têm a mesma composição química/mineralógica, sendo portanto iguais, constituídas principalmente de feldspato (62%), quartzo (25 %), biotita (7%) e hornblenda (5%). Como minerais menos importantes foram caracterizados zircão, apatita e ilmenita;
- A resistência à compressão do concreto feito com a brita de Santo Antônio de Pádua (23 Mpa) a enquadra como uma brita de média resistência, sendo recomendável na utilização em obras civis de pequeno e médio porte;
- Numa britagem do material abaixo de 1” em britador de mandíbulas (circuito fechado), obtêm-se as seguintes proporções de brita:
 - 48 % brita 1 - material 25 x 12,7 mm - para uso em concreto
 - 29 % brita 0 - material 12,7 x 4,8 mm – para uso em concreto e em pré-moldados
 - 23 % pó-de-pedra - material -4,8 mm – para uso em pré-moldados;
- Um estudo de pré – viabilidade econômica para operação de uma usina de brita de 30.000 m³/ano de capacidade, projetou um investimento total de R\$ 675.000,00 com uma receita de R\$ 384.000,00 e gerando uma taxa de retorno de 12% ao ano, valor presente líquido de R\$ 338.303,00 e período de recuperação do investimento no prazo de 4 anos;
- Um projeto de aproveitamento de brita/areia em Santo Antônio de Pádua é auto-sustentável, pois além de gerar receita e emprego para o município, traz ainda, dentre outros, os seguintes benefícios: não utilização de explosivos, custo zero de lavra, aproveitamento de material já extraído e estocado, saneamento ambiental, minimização dos índices de acidente e do impacto ambiental da região.

B – Rejeito de finos de serraria Espírito Santo

- Existe viabilidade técnica de se purificar o resíduo através da separação magnética de alta intensidade. Tal processo foi capaz de remover o Fe em até 75%, reduzindo o teor de 3,2% para 0,7%, viabilizando a sua utilização em usos mais nobres;
- O resíduo beneficiado pode ser usado até 30% nas formulações de massa para cerâmica;
- A resistência mecânica diminui com o aumento do teor de finos não beneficiado, e aumenta com o aumento do teor de finos beneficiados (1.100° C);
- Os valores absolutos menores da resistência mecânica dos finos não beneficiado indicam que os finos é prejudicial à resistência mecânica da peça;
- A granulometria do resíduo beneficiado permite substituir com vantagens a argila grosseira usada com a fina para diminuir a plasticidade;
- Pelo trabalho executado concluiu-se que é viável o aproveitamento de rejeitos de pedreiras e de finos de serrarias.

BIBLIOGRAFIA

- ALENCAR, C R. A.; CARANASSIOS, A.; CARVALHO, D. **Tecnologias de lavra e beneficiamento**. Fortaleza: Instituto Euvaldo Lodi, 1996. (Estudos econômicos sobre rochas ornamentais, v.3)
- ALMEIDA, S. L.M. **Aproveitamento de rejeitos de pedreiras de Santo Antônio de Pádua-RJ, para a produção de brita e areia**. São Paulo, 2001, 118p. Tese (Doutorado)- Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.
- CARUSO, L. G. Pedras naturais-extração, beneficiamento e aplicação. **Rochas & Equipamentos**, n. 43, p. 98-156, 1996.
- FONSECA, M. V. A. **Reciclagem de rejeitos sólidos: desenvolvimento em escala de laboratório, de materiais vítreos a partir de xisto retornado**. São Paulo, 1990. 224p. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- FREIRE, A. S. ; MOTTA, J. F. Potencialidades para o aproveitamento econômico do rejeito da serragem do granito. **Rochas de Qualidade**, n. 123, p. 98-106, jul./ ago. 1995.
- FERREIRA, J. P. **Otimização na produção de teares a partir do controle da composição da lama abrasiva**. Cachoeiro do Itapemirim, 1996. 96 p. Monografia - Universidade Federal do Espírito Santo.
- MOYA, M. M. **A indústria de rochas ornamentais: estudo de caso na região de Bragança Paulista**. São Paulo, 1995. 116p. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas.
- MOREIRA, M. D. **Aplicações dos minerais e rochas industriais**. In: Materiais para construção, caps. II, III, pedras de revestimento, produto cerâmicos. Salvador / Bahia, 1994. 87p., Sociedade Brasileira de Geologia, Núcleo Bahia – Sergipe. p. 14 – 19.
- PONTES, I. F. **Aproveitamento de finos gerados nas serragens de mármore e granitos**. São Paulo, 2001. 150p., Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- STELLIN JÚNIOR, A. **Serragens de granitos para fins ornamentais**. São Paulo, Departamento de Engenharia de Minas, Universidade de São Paulo, 1998. (Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, BT/PMI/085)
- SILVA, S. A. C. **Caracterização do Resíduo da Serragem de Blocos de Granito. Estudo do Potencial de aplicação na Fabricação de Argamassas de Assentamento e de Tijolos de Solo – Cimento**. Espírito Santo, 1998. 159p. Dissertação (Mestrado) - Núcleo de Desenvolvimento em Construção Civil - NDCC, Universidade Federal do Espírito Santo.
- VIDAL, F. W. H. **Estudos dos elementos abrasivos de fios diamantados para a lavra de granitos do Ceará**. São Paulo, 1999. 173p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

UMA ABORDAGEM TÉCNICA E AMBIENTAL SOBRE OS DEPÓSITOS DE QUARTZITOS NO ESTADO DA PARAÍBA

Antônio Pedro F. Souza¹, Aarão de Andrade Lima², Tumkur Rajarao Gopinath³ e Hugo Cliger S. Nadler⁴

¹ Mestre em Engenharia de Minas, Coordenador do Curso de Graduação em Engenharia de Minas do CCT/UFPB. Av. Aprígio Veloso, 882 – Bodocongó – 58.109-970 – Campina Grande – PB
Fone: (83) 310-1169 - E_mail: apedro@cct.ufpb.br

² Doutor em Engenharia de Minas, Chefe do Departamento de Mineração e Mineralogia do CCT/UFPB. Av. Aprígio Veloso, 882 – Bodocongó – 58.109-970 – Campina Grande – PB
Fone: (83) 310-1169

³ Doutor em Geologia, Coordenador do Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Minas do CCT/UFPB. Av. Aprígio Veloso, 882 – Bodocongó – 58.109-970 – Campina Grande – PB
Fone: (83) 310-1169

⁴ Monitor de Geologia do Curso de Graduação em Engenharia de Minas do CCT/UFPB. Av. Aprígio Veloso, 882 – Bodocongó – 58.109-970 – Campina Grande – PB
Fone: (83) 310-1169 - E_mail: hugonadler@bol.com.br

RESUMO

Os principais depósitos/ jazidas minerais de quartzitos do estado da Paraíba estão nos municípios de Várzea e Junco do Seridó e ocorrem associados a rochas pré-cambrianas de idade proterozóica superior, correlacionadas a Formação Equador do Grupo Seridó. Esses quartzitos são aproveitados sob a forma de lajotas quadradas ou retangulares e utilizados em diversos setores da construção civil. Apresentam-se com coloração variada, textura granuloblástica, granulação fina a média e foliação bem desenvolvida. Nos últimos anos foi observado um acréscimo considerável na escala de produção desse material rochoso nesses municípios, evidenciado pela conquista cada vez maior de novos mercados. Na pedreira de quartzitos a lavra é efetuada de forma predatória, sem os levantamentos técnicos-econômicos necessários, e provocam vários impactos ambientais e desperdícios que prejudicam o desenvolvimento sustentável na região. Neste trabalho apresenta-se uma caracterização geológica e tecnológica desses depósitos/jazidas de quartzitos, mediante os resultados obtidos com os levantamentos geológicos básicos e o ensaio geomecânico (ensaio resistência à flexão) efetuados no laboratório, levando em consideração os impactos ambientais provocados, de modo a sugerir medidas que possibilitem o aproveitamento racional dos quartzitos.

Palavras-Chave: Quartzitos, Lavra, Paraíba

INTRODUÇÃO

A atividade de mineração é um dos principais agentes catalisadores de desenvolvimento em uma nação como o Brasil, a medida em que atua com suporte a diversos setores produtivos como rochas ornamentais, cerâmica, fertilizantes, siderurgia, metalurgia, indústria cimenteira, petroquímica, entre outros.

Considerando que a mineração é uma importante fonte de matéria-prima para a indústria automobilística, eletroeletrônica e de construção civil, ela tem exercido um importante papel no

desenvolvimento sócio-econômico de um grande número de micro-regiões e centros urbanos brasileiros, notadamente mediante a geração de emprego e renda.

O Brasil é reconhecidamente um dos maiores países de potenciais minerais do mundo contemporâneo, produzindo mais de 100 (cem) substâncias minerais, entre as quais destaca-se o nióbio, ferro, manganês, alumínio (bauxita), estanho (cassiterita), magnetita, ouro, níquel, cromo, cobre, ilmenita, grafita, fosfato, potássio, caulim, gemas, e outras utilizadas na construção civil como rochas ornamentais, areia, brita, calcário, etc.

Por outro lado, vale ressaltar o notável crescimento da produção brasileira de rochas ornamentais e de revestimento, com destaque para os granitos, ardósias, quartzitos, mármore, serpentinitos e pedra sabão. Essa produção é hoje superior a 5 milhões de t/ano caracterizando o Brasil como um grande produtor e exportador dessas rochas.

O estado da Paraíba possui uma área de 56.372 Km² e seu subsolo é constituído por rochas portadoras de minerais de notável importância econômica e social, entre os quais estão bentonita, água mineral, areia, calcário, brita, feldspato, vermiculita, zirconita, ilmenita, tantalita, ouro, gemas, rochas ornamentais e de revestimento, entre outras.

A produção de rochas ornamentais da Paraíba inclui diversos tipos de granitos exóticos de rara beleza e quartzitos, cujas características geológicas e mineralógicas asseguram um elevado padrão de estética, beleza e qualidade, possibilitando uma grande aceitação nos mercados nacional e internacional.

Embora a Paraíba seja detentora dessas riquezas minerais, com potencial para gerar mais divisas e oferecer mais empregos, o setor mineral ocupa o insignificante 8º lugar na economia estadual (CDRM, 1996). O Estado, atualmente perde sua arrecadação de tributos com a sonegação fiscal e a extração inadequada de seus recursos minerais.

Além do mais, as reservas das substâncias minerais da Paraíba, divulgadas no Anuário Mineral Brasileiro do DNPM, não refletem o real panorama mineral do Estado, provavelmente porque a maioria das áreas de extração dessas substâncias não foi registrada no DNPM e, por conseguinte, não estão com os direitos minerários de lavra regularizados.

As principais áreas mineralizadas de quartzitos na Paraíba estão na Província Borborema, mais precisamente nos municípios de Junco do Seridó e Várzea (Figura 1), cujos depósitos se estendem até os municípios de Parelhas e Ouro Branco no Rio Grande do Norte. Nessas áreas observa-se uma extração intensa de lajotas quadradas ou retangulares de quartzitos para aplicação em revestimento de paredes, calçadas, piscinas e em pisos de construção moderna e rústica. A partir da década de 40, a produção dessa rocha cresceu bastante, conquistando cada vez mais novos mercados como Campina Grande, João Pessoa, Natal, Recife, Fortaleza e Salvador, existindo inclusive a possibilidade de inserção no mercado exterior.

Entretanto, todo este crescimento não foi precedido por um estudo detalhado de viabilidade técnico-econômico desses depósitos, inexistindo os levantamentos geológicos básicos das áreas mineradas, e as operações de lavra ainda são realizadas de forma inadequada, causando uma série de impactos ambientais que comprometem o desenvolvimento sustentável na região.

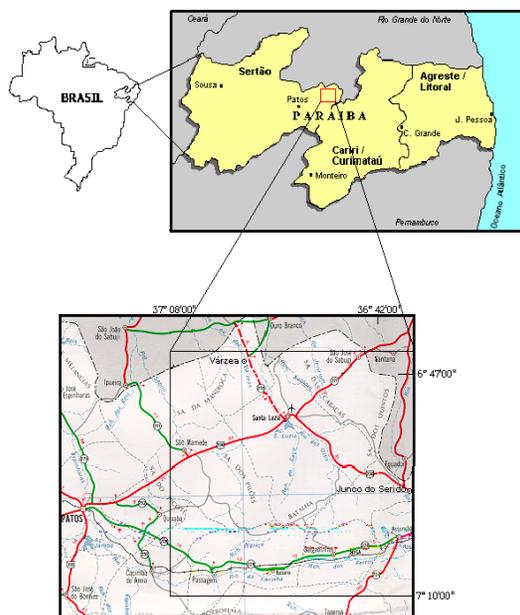


Figura 1 - Mapa de Localização da Região de Junco do Seridó e Várzea, Paraíba.

OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é de apresentar os resultados dos estudos efetuados sobre a extração de quartzitos nos municípios de Junco do Seridó e

Várzea, Paraíba, levando em consideração as características geológicas e mineralógicas das jazidas/depósitos, os métodos de lavra adotados e os impactos ambientais provocados por essa atividade.

METODOLOGIA

Os estudos foram realizados em duas etapas principais: levantamentos de campo e ensaios tecnológicos no laboratório de mecânica de rochas do Departamento de Mineração e Geologia do CCT/UFPB em Campina Grande. Foram efetuados levantamentos geológicos básicos, caracterização tecnológica das jazidas, análise dos métodos adotados nas frentes de lavra visitadas e análise dos impactos ambientais nas áreas estudadas. Foram observadas as seguintes questões principais:

- 1) Como era o comportamento geológico-estrutural nas frentes de lavra de quartzitos de Várzea e Junco do Seridó-PB?
- 2) Qual o perfil operacional das atividades de lavra nas áreas em estudo, e como o conhecimento das feições geológicas das áreas estudadas poderia facilitar a adoção de métodos mais racionais de extração?

A base conceitual sólida aplicada neste estudo considera que a adoção de um método de lavra adequado para rochas ornamentais, como os quartzitos, deve levar em consideração as características geológicas e parâmetros geomecânicos do depósito a ser lavrado.

Levantamentos Geológicos Básicos

A seleção das áreas estudadas foi realizada através de visitas de campo a várias pedreiras nas proximidades de Várzea e Junco do Seridó, quando então foi escolhida uma pedreira próxima à Várzea e outra na vizinhança de Junco do Seridó, de modo a se obter um quadro representativo da geologia e da lavra nessa região.

As primeiras áreas escolhidas estavam situadas a, aproximadamente, 6 Km a NE da cidade de Várzea, no sopé da Serra dos Poções, em uma zona limítrofe da Paraíba e o Rio Grande do Norte. Vale ressaltar, que essa serra contém um importante depósito de quartzito que se estende de Várzea até o município de Ouro Branco-RN.

Em cada pedreira foram escolhidas frentes de lavra, também chamadas pelos garimpeiros de “banquetas”, onde foram realizados os levantamentos geológicos básicos, gerenciando-se as informações existentes na literatura disponível sobre as áreas em estudos, auxiliados por mapas regionais e folhas cartográficas da SUDENE. Nos trabalhos tradicionais de campo foram usados GPS, trena, martelo e bússola.

Nas frentes de lavra selecionadas para os estudos de campo foram executadas as seguintes atividades:

- Cadastramento dessas frentes e coleta de dados, através de observações e entrevistas, com os proprietários e/ou garimpeiros, sobre a produção, mercado consumidor, técnicas de extração, entre outras;
- Dimensionamento das frentes objetivando as medições de extensão, altura da bancada, largura da cava, e a sua latitude e longitude;
- Localização e cadastramento de fraturas em cada frente, onde foram feitas as medições de suas atitudes, e posteriormente agrupando-as em famílias de acordo com essas mesmas atitudes;
- Medição dos espaçamentos entre as famílias de fraturas paralelas e transversais;
- Obtenção das espessuras das camadas paralelas a foliação;
- Coleta de amostras para identificação superficial da composição mineralógica, cor, granulometria, textura, e um estudo físico-mecânico mais detalhado sobre a sua resistência a flexão e tração.

Ensaio no Laboratório

As amostras de quartzitos coletadas no campo serviram para preparar os corpos-de-prova para os ensaios tecnológicos de resistência a flexão. Os testes serão apresentados em tabelas, seguindo a recomendação do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT). Essas amostras foram separadas por região, e feitos cortes com serra diamantada para os ensaios. As dimensões adotadas são aquelas especificadas pelas normas técnicas, conforme ABNT-NBR 12763 (1992).

Os ensaios foram realizados nas direções perpendiculares as estruturas das rochas. Este tipo de ensaio foi escolhido com o objetivo de determinar a tensão de ruptura por tração na flexão das rochas. Vale salientar, que a rocha estudada, deverá ser utilizada na indústria de construção civil como revestimento em edificações. Na região pesquisada os blocos e placas de quartzitos são retirados paralelamente a foliação, aproveitando-se a maior fraqueza dos seus planos, por essa razão não foram feitos os experimentos nas outras direções.

A aparelhagem utilizada para a execução dos ensaios consiste de um equipamento para corte de rochas, composto por um disco diamantado capaz de cortar superfície tão plana quanto possível, e um paquímetro de 200 mm com divisões de 0,05 mm para medição dos corpos-de-prova.

Apresenta ainda uma prensa com capacidade de 24000 kN e resolução igual a 40 kN, dispoendo de um prato inferior rígido e um prato superior suspenso na cabeça da prensa e munido de rótula, de modo a permitir pleno contato com o topo do corpo de prova, contendo um sistema de aplicação de carga que permita um carregamento progressivo e contínuo.

As amostras representativas foram colhidas nas jazidas em quantidades tais que representavam todas as características da rocha, sendo assegurado volume suficiente para permitir a obtenção dos corpos-de-prova necessários para representar a variabilidade dos valores de tensão de resistência a flexão.

CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA E MINERALÓGICA

A geologia da região chamada Província da Borborema de idade pré-cambriana, onde se localizam as áreas mineralizadas dos quartzitos da Paraíba, foi objeto de estudo de vários pesquisadores, não sendo objetivo deste trabalho uma discussão detalhada sobre o assunto.

Os terrenos pré-cambrianos da área estudada podem ser, sob o ponto de vista geológico em duas unidades fundamentais:

- a) O embasamento cristalino associado por diversos autores à unidade litológica denominada Grupo Caicó é integrado por rochas gnáissico-migmatíticas-graníticas;
- b) O das coberturas metassedimentares associados a unidade litológica do proterozóico superior, é constituído por quartzitos, metaconglomerados, micaxistos, calcários e gnaisses.

Os quartzitos estudados neste trabalho fazem parte da cobertura metassedimentar, e estão correlacionados a Formação Equador do Grupo Seridó, conforme mapa geológico da região (Figura 2). Essa região passou por diversas fases de deformação e tectonismo, resultando em dobramentos, falhamentos e cisalhamentos das rochas existentes, inclusive dos quartzitos (JARDIM DE SÁ et. al. 1992, BRITO NEVES et. al. 1995)

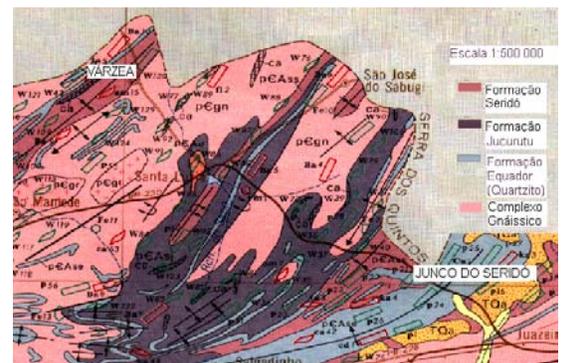


Figura 2 – Mapa geológico das áreas mineralizadas de quartzitos na Paraíba (modificado de Dantas et al. 1982)

Os quartzitos são rochas formadas a partir do metamorfismo regional ou de contato dos arenitos, diferenciam-se destes pela presença de foliações, por

apresentarem dureza elevada e superfície mais áspera. A variedade característica de cor e aspecto é função do grau de pureza da rocha original.

Os quartzitos de Várzea e Junco do Seridó apresentam coloração variada, são rochas coesas, resistentes à abrasão, antiderrapantes, não conservam calor e não retém água.

Análise petrográficas destes quartzitos evidenciaram textura granuloblástica com granulação fina a média, tendo como constituintes mineralógicos predominantes os grãos de quartzo cristalizados e como minerais acessórios a muscovita, clorita, epidoto, magnetita-silimanita, feldspato entre outros menos significativos.

A presença de xistosidade é determinada pela orientação cristalográfica acentuada das micas, gerando a foliação que influencia a ocorrência de planos de clivagem homogeneamente distribuídos. Os quartzitos são anisotrópicos, ou seja, existem variações de suas propriedades com a direção. A anisotropia está relacionada às variações evidenciadas pelos elementos de *fabric* das rochas dispostos em forma de acamamentos, planos de xistosidades, foliações, fissuramentos, juntas e outros (Amadei & Stephanson, 1997).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os quartzitos de Várzea e Junco do Seridó apresentam coloração um pouco diferenciada. Os quartzitos de Várzea apresentam uma coloração creme e cinza, devido à presença da muscovita como principal mineral acessório. Por outro lado, as rochas quartzíticas predominantes do Junco do Seridó possuem cores variadas como vermelho, verde, marrom, creme, cinza, entre outras.

Nos quartzitos de Junco de Seridó e Várzea foram observadas partições nas lajes que variam de 1,8 a 3,5 cm de espessura. Nas áreas de Várzea, foi detectada uma zona com uma partição muito forte, provavelmente decorrente de um grande falhamento, onde verificou-se a existência de fraturas paralelas à foliação, bem nítidas e intensas, espaçada entre 3 e 4 cm. Não há nenhum outro tipo de litologia intercalada. A variação na textura e composição do quartzito é muito sutil nas pedreiras, e as características marcantes são fraturas e foliações.

Com base nos valores mínimos recomendados pela ASTM C 616-95, os ensaios de resistência a flexão demonstraram que os quartzitos das pedreiras de Várzea e Junco do Seridó são de boa qualidade, pois os valores médios dos módulos de ruptura (Tabelas 1 e 2), observados nos ensaios com as amostras da mina Magno (Várzea) e da mina Ipueira (Junco do Seridó), estão acima do valor mínimo exigido pela Norma.

Nos diagramas estereográficos observa-se uma maior frequência de fraturas nos depósitos de quartzitos da região de Várzea, que se apresentam subverticalizados, com direção aproximada de 312°, uma vez que as frentes de lavra estudadas se localizam no flanco de uma dobra, dotado de um

grande número de fraturas com espaçamentos pequenos entre elas (Figura. 3 a). Em Junco do Seridó, os depósitos de quartzitos encontram-se no sentido subhorizontal, paralelos à foliação, fazendo parte da crista de uma dobra, com as fraturas na direção de aproximadamente 22°, por essa razão não há grandes espaçamentos entre as fraturas, as quais ocorrem em várias direções (Figura. 3 b).

Tabela 1 - Ensaios com as amostras da pedreira Magno (Várzea, PB).

| CORPO DE PROVA Nº | ESPESSURA MÉDIA (cm) | LARGURA MÉDIA (cm) | CARGA DE RUPTURA (Kgf) | TENSÃO DE RUPTURA (Kgf/cm ²) (MPa) |
|-------------------|----------------------|--------------------|------------------------|--|
| 1 | 4,8 | 9,6 | 1293,0 | 157,8 15,5 |
| 2 | 4,8 | 9,9 | 1240,0 | 146,8 14,4 |
| 3 | 5,0 | 10,1 | 1040,0 | 111,2 10,9 |
| 4 | 4,9 | 10,0 | 1600,0 | 179,9 17,6 |
| 5 | 5,0 | 9,9 | 1520,0 | 165,8 16,3 |
| Média | | | 1338,6 | 132,3 14,9 |
| Desvio Padrão | | | 224,8 | 68,7 2,5 |

Tabela 2 – Ensaios com as amostras da pedreira Ipueira (Junco do Seridó, PB)

| CORPO DE PROVA Nº | ESPESSURA MÉDIA (cm) | LARGURA MÉDIA (cm) | CARGA DE RUPTURA (Kgf) | TENSÃO DE RUPTURA (Kgf/cm ²) (MPa) |
|-------------------|----------------------|--------------------|------------------------|--|
| 1 | 4,9 | 10,1 | 1440,0 | 159,8 15,7 |
| 2 | 5,2 | 10,1 | 1820,0 | 182,5 17,9 |
| 3 | 5,0 | 10,2 | 1400,0 | 152,0 14,9 |
| 4 | 5,4 | 10,0 | 1560,0 | 146,8 14,4 |
| 5 | 5,1 | 10,2 | 1440,0 | 148,4 14,6 |
| Média | | | 1532,0 | 157,9 15,5 |
| Desvio Padrão | | | 171,81 | 14,6 1,4 |

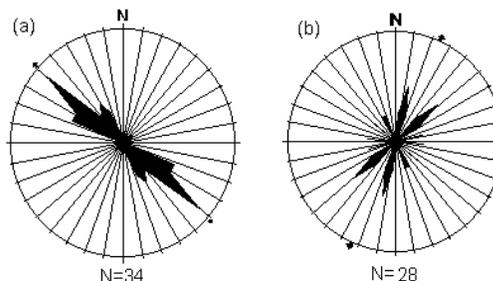


Figura 3 – Diagrama de frequência de azimutes das fraturas nos quartzitos. (a) Área de Várzea. (b) Área de Junco do Seridó.

Após as visitas de campo às pedreiras selecionadas, e contatos técnicos com os

proprietários e garimpeiros, observou-se que, na maioria das pedreiras de quartzito, a lavra é feita a céu aberto, adotando-se um sistema de extração com desmonte manual, e que em poucas frentes de lavra é usado explosivo para a divisão da rocha.

No sistema manual, a extração direta de grandes placas, ou lajotas do maciço rochoso, inicia-se pela perfuração manual com o uso de marreta e hastes de ferro, para abertura de canais ou furos, aproveitando os planos de clivagem de modo a dividir a rocha em duas partes; uma das quais manuseável, de onde era extraída as placas de quartzitos. Segundo informações colhidas com os garimpeiros, normalmente um furo manual é feito por dois operários, que passam em média dois dias para concluí-lo. Em algumas frentes de lavra o comprimento do furo da bancada chega até a 2 m, com uma polegada de diâmetro.

No sistema de perfuração e explosivo, efetuado com martelos pneumáticos e explosivos do tipo nitrato de amônia, foi observado em poucas frentes de lavra, a busca de uma produtividade maior. Nesses casos eram perfurados em média 4 furos com altura de 2,5 m e diâmetro de uma polegada, com duração média de 40 minutos por furo. Após o desmonte do bloco rochoso, inicia-se a subdivisão deste em placas ou lajões, usando marretas e talhadeiras. Todo esse material desmontado é carregado e transportado para a superfície com pás manuais e carros de mão. Em seguida, as lajes eram esculpidas até o esquadrejamento final. Nas áreas estudadas, existem aproximadamente 150 “banquetas” em atividade, com produção semanal de 40 a 140 m² de quartzitos por “banqueta”.

A mineração, como qualquer outra atividade econômica, provoca impactos sobre o meio ambiente, cuja a preservação e recuperação depende da adoção de técnicas apropriadas para execução de suas operações. A extração de quartzitos na Paraíba ocorre longe dos grandes centros urbanos, em pequenos municípios, situados no interior do Estado, em áreas constituídas de vegetação típica da caatinga, com reduzido índice pluviométrico e com baixo potencial hídrico.

Como a região onde ocorre essa atividade tem um baixo potencial hídrico, não se observa impactos ambientais significativos sobre a água. Da mesma forma, a limitada utilização de martelos pneumáticos e explosivos, nos desmontes das frentes de lavra, minimiza os efeitos da poluição do ar, verificando-se apenas a propagação insignificante de partículas sólidas sedimentáveis ou em suspensão no sistema manual de produção de quartzitos.

Entretanto, as precárias condições de trabalho comprometem a segurança das pedreiras no ambiente interno das frentes de lavra provocando uma série de acidentes de trabalho, causados pelo desmoronamento de blocos rochosos.

Os impactos ambientais mais negativos, provocados por esse tipo lavra, foram observados sobre o solo, refletidos na modificação da paisagem,

mediante a remoção indiscriminada da vegetação, e a disposição inadequada de um grande volume de rejeitos.

Em consequência da remoção da cobertura vegetal e do solo, foram observados um considerável deslocamento da macrofauna nas áreas mineradas, e a eliminação parcial da microfauna.

Quanto aos aspectos sócio-econômicos, ficou evidenciado a existência de impactos positivos nas áreas mineradas, nas proximidades de Várzea e Junco do Seridó, mediante a geração de aproximadamente 600 empregos diretos e 1500 indiretos, a elevação da receita desses municípios pelo recolhimento de impostos e ampliação do comércio local.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Os depósitos de quartzitos nos municípios de Junco do Seridó e Várzea, ambos pertencentes ao Estado da Paraíba, são lavrados de maneira rudimentar resultado das condições econômicas e sociais da região. As minerações são muito pequenas e não dispõem de nenhum tipo de equipamento adequado, principalmente de segurança, e seus funcionários trabalham em condições precárias. A lavra de rochas com foliação marcante e com grande complexidade geológica, como no caso dos quartzitos, requer um investimento em pesquisa mineral. A incidência de fraturamento na rocha e o uso de técnica inadequada de desmonte provocam baixos índices de recuperação na lavra, observando-se uma quantidade significativa de rejeitos, que além de dificultar os trabalhos das frentes de lavra, causam danos ao meio ambiente provocando mudanças na paisagem e no meio biótico. A extração dos quartzitos influenciou o comportamento e a formação cultural dos habitantes nessas comunidades, observando-se impactos positivos no meio sócio-econômico, mediante a geração de emprego e renda em uma região pobre, castigada pelos efeitos da seca.

Dessa forma, com base nessa pesquisa realizada, pode-se relacionar algumas recomendações para melhoria da lavra de quartzitos nas áreas estudadas:

- Desenvolver estudos geológicos aplicados de modo a reavaliar as reservas de quartzitos na Paraíba;
- Conscientizar os pequenos produtores ou garimpeiros sobre a necessidade de se organizarem em cooperativas, de modo a estabelecerem o preço dos quartzitos em níveis compatíveis com os custos de produção, trazendo benefícios para melhorar as suas atividades operacionais;
- Desenvolver uma ação mais efetiva de marketing em feiras nacionais e internacionais da construção civil, mostrando a qualidade e a diversidade dos quartzitos da Paraíba, em especial de Várzea e Junco do Seridó.

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1992. Rochas para revestimento – Determinação da resistência à flexão. NBR 12763.

AMADEI, B.;& STEPHANSON O. (1997) Rock stress and its measurement. Cambridge, University Press/ Chapman & Hall, 490p.

BRITO NEVES, B.;VAN SCHMUS, W.R.; DOS SANTOS, E.J.; CAMPOS NETO,M.C.; KOZUCH, M. (1995). O evento Cariris Velhos na Província Borborema: integração de dados, implicações e perspectivas. Ver. Bras. Geoc., 25, 279-296.

DANTAS, J.R.A.; CAÚLA, J.A.L.; NEVES.; B.B.B, PEDROSA, I.L. 1982 Mapa geológico do estado da Paraíba. CDRM-CIA.de Desenvolvimento de Recursos Minerais da Paraíba, Campina Grande, PB, 133p.

JARDIM DE SÁ, E.E.; MACEDO, M.H.F.; FUCH, R. A. KAWASHITA,K. (1992). Terrenos Proterozóicos na província Borborema e margem norte do Cráton São Francisco. Rev. Bras. Geoc., 22, 472-480.

ROCHAS ORNAMENTAIS DO CEARÁ – APROVEITAMENTO DE REJEITOS DA PEDREIRA ASA BRANCA EM SANTA QUITÉRIA - CE

Cajaty¹, A. A. Costa², A.P.L.; Nogueira Neto¹, J.A.; Veríssimo¹, C.U.V.; Santos¹, T.J.S.; Lima³, M.A.B. e Vidal⁴, F.W.H

¹ Universidade Federal do Ceará/DEGEO. Bloco 912 – Campus do PICI – Bairro PICI – 60.455-760 – Fortaleza-CE - E_mail: cajaty@ufc.br

² Mestrado em Geologia - Universidade Federal do Ceará. Bloco 912 – Campus do PICI – Bairro PICI – 60.455-760 – Fortaleza-CE

³ NUTEC – DITEM. Av. Prof. Rômulo Proença, s/n, Campus do Pici – 60.451-970 – Fortaleza - CE
Fone: (85)287-5211 - Fax: (85)287-1522 - E_mail: angelica@nutec.ce.gov.br

⁴ Eng^o de Minas, DSc. Centro de Tecnologia Mineral – CETEM/MCT
ABIROCHAS – Rua Barão de Studart, 2360 – sala 406 – Bairro Aldeota – 60.120-002 – Fortaleza-CE
Fone: (85)246-2600 - Fax: (85)246-0262 - E_mail: abirochas@secrel.com.br

RESUMO

O presente trabalho foi desenvolvido na Pedreira Asa Branca pertencente a empresa Granistone, situada na porção centro-oeste do Estado do Ceará, a noroeste da sede do Município de Santa Quitéria, Distrito de Trapiá, distando aproximadamente 246 Km de Fortaleza. São abordados no mesmo, aspectos geológicos da região, com ênfase nas características da jazida, reserva, lavra, produção, recuperação, análises petrográficas e ensaios tecnológicos. Especificamente, enfatiza-se a possibilidade do rejeito proveniente da Pedreira Asa Branca ser aproveitado, através da extração de bloquetes, para serem beneficiados em talha-blocos no sistema multidiscos (serras diamantadas). Tal extração é seletiva, manual, simples e barata. Dois diferentes tipos de bloquetes-padrão são propostos, nas formas cúbica e paralelepípeda. Após o beneficiamento em ladrilhos de superfície com 40x40cm, e espessuras de 10,0mm e 6,0mm, atingirão, respectivamente, um rendimento da ordem de 3,8 a 5,7m² e de 2,5 a 3,7m². Resultando portanto, que cada metro cúbico de rocha ornamental de aproveitamento de rejeitos, pode alcançar um rendimento de até 60m² (bloquetes cúbicos) e de até 50m² (bloquetes paralelepípedos).

INTRODUÇÃO

Considerações Iniciais

O Estado do Ceará ocupa uma área de 148.016 Km² onde 75% desta é constituída de rochas cristalinas (silicáticas e carbonáticas), representadas por granitos, gnaisses, migmatitos, quartzitos, mármores, etc., possuindo por tanto, um grande potencial em rochas ornamentais. Conforme dados fornecidos pelo DNPM-CE, as reservas de rochas ornamentais no Ceará são da ordem de 800.000.000m³, com produção anual por volta de 34.000m³.

A Jazida Asa Branca, focalizada nesta pesquisa, possui reserva medida de 74.682.165m³ (197.907.736ton), que representa mais de 9% das reservas do Estado, tendo produzido 12.000m³ no ano 2000.

Tendo em vista reserva e produção, bem como, sua constituição litológica, representada por um granito branco de rara beleza e de aspecto estético-decorativo excepcional, a Pedreira Asa Branca destaca-se como a mais importante do Ceará, sendo considerada uma das maiores e raras jazidas de granito branco do mundo.

Considerando o potencial e produção de rochas ornamentais no Ceará, bem como, as taxas de recuperação nas lavras que raramente ultrapassam a 50%, detectou-se a existência de um grande volume de rejeitos que pode ser aproveitado como matéria-prima de rocha ornamental, propiciando assim, o aumento na produtividade das pedreiras.

No caso da Pedreira Asa Branca, cuja produção foi de 12.000m³ a uma taxa de recuperação de apenas 27%, observou-se que no rejeito (73% do volume extraído) havia expressivo volume de blocos defeituosos e fragmentos rochosos em dimensões que poderiam ser aproveitados efetuando-se a extração de bloquetes para posterior beneficiamento em talha-blocos no sistema multidiscos. Conseqüentemente, essa pesquisa indica possibilidade do aumento da taxa de recuperação e de produção da mencionada pedreira, evitando-se desta forma, que um granito especial (Albita-Granito), seja aproveitado como sub-produto de agregados da construção civil.

Localização e vias de acesso

A Jazida Asa Branca esta localizada na porção centro-oeste do Estado do Ceará, mais precisamente à noroeste da cidade de Santa-Quitéria, no distrito de Trapiá, Fazenda Lagoana, a uma distância de aproximadamente 246 Km de Fortaleza.

Partindo-se de Fortaleza, o acesso pode ser feito através da BR-020, percorrendo-se 112 Km até a cidade de Canindé. Daí, segue-se pela CE-257 em torno de 105 Km até Santa Quitéria, onde se pega a CE-176 que liga Santa Quitéria a Sobral, percorrendo-se mais 13 Km até o entroncamento com a estrada carroçável, atingindo-se a Jazida Asa Branca com mais 16 Km (Fig. 1).

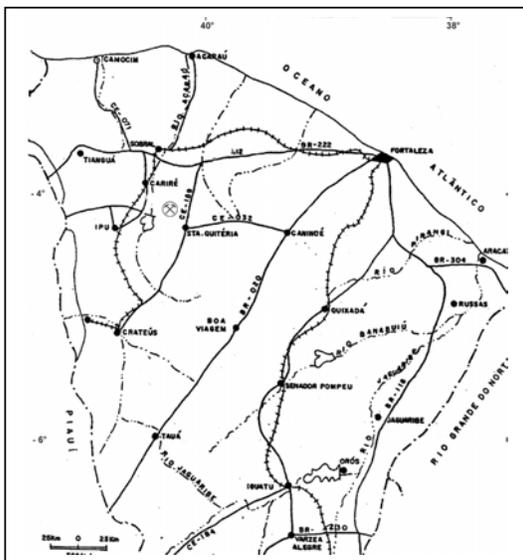


Fig. 1 – Mapa de localização e acesso

ARCABOUÇO GEOLÓGICO

A região dentro da qual estão contidos os granitos, foco principal do trabalho em apreço, pode ser enquadrada na unidade geológica denominada por Brito Neves (1975; 1983) de maciço de Santa Quitéria, equivalente ao Complexo Tamboril – Santa Quitéria de Campos (1979).

Para uma melhor compreensão acerca do ambiente geológico inerente aquela região, convém assinalar, as principais unidades Pré-Cambrianas expostas no Estado do Ceará. Os terrenos Pré-Cambrianos aflorantes no Estado do Ceará, podem ser divididos em diversos Domínios Geodinâmicos, que englobam variadas seqüências litológicas com evoluções tectôno-metamórficas diferenciadas (Kegel, 1965; Caby et al., 1991; Arthaud et al., 1998). Tais entidades são limitadas por expressivas descontinuidades crustais, materializadas por megazonas de cisalhamento. São reconhecidos pelo menos cinco (5) principais Domínios Pré-Cambrianos no Ceará, conforme as seguintes denominações: Piancó – Alto da Brígida (A), Granjeiro (B), Sistema Orós – Jaguaribe (C), Ceará Central (D) e NW do Ceará (Médio Coreau) (E).

Conforme o contexto acima referido, o Complexo Tamboril – Santa Quitéria pertence ao Domínio Ceará Central de Arthaud et al. (1998).

O Complexo Tamboril – Santa Quitéria é composto essencialmente por gnaisses e migmatitos de composição tonalítica – granodiorítica, com intercalações de anfíbolitos e calciossilicáticas. Adicionalmente, uma expressiva seqüência constituída por granitos também está presente, exibindo nítidas relações intrusivas com o conjunto anterior.

À noroeste da cidade de Santa Quitéria, dentro dos domínios deste complexo, são reconhecidos pequenos corpos graníticos, em geral de contornos subcirculares, exibindo relações de

intrusão com gnaiss e migmatitos. Constituem Stocks de caráter pós-orogênicos, com posicionamento estratigráfico similar aos granitos Meruoca e Barriga (Braga et al., 1977). Composicionalmente correspondem a granitos, granitos alcalinos e monzogranitos. Mais especificamente, parte do corpo granítico de Morrinhos (Albita - Granito), é enfocado no trabalho em questão.

O corpo granítico representado pelo Stock Morrinhos, onde se localiza a Jazida Asa Branca, é uma unidade litológica que mantém contatos bruscos discordantes com relação ao complexo granítico (Proterozóico Superior) e a Unidade Metabásica (Proterozóico Médio), posicionado no Ordo-siluriano (Meneses & Barroso Filho, 1995).

Segundo Roberto (1998), o evento orogenético do Ciclo Brasileiro desenvolvido no final do Proterozóico Superior, possui registros indicativos de sua influência ainda no início da era Paleozóica, sendo representado por granitóides, sienitos e diques de rochas ácidas e intermediárias. O Stock Morrinhos, constituído por albita-granito seria um dos representantes dos granitóides desta unidade.

Bezerra & Moser (2000) em estudo do Stock São Paulo, também constituído de albita-granito, denominaram-no de corpo granular pós-cinemático de idade Fanerozóica (Eopaleozóica). Este Stock granítico está localizado a aproximadamente 5,5 Km a noroeste do Stock Morrinhos.

Os dados supracitados e as observações de campo, indicam que os stocks granulares intrusivos representados pelos serrotes São Paulo e Morrinhos são de origem pós-cinemática ou tardi-cinemática de idade Paleozóica (Fanerozóica).

Meneses & Barroso Filho (1995), concluíram que os corpos intrusivos representados pelos Stock Morrinhos e São Paulo, não foram afetados por deformações dúcteis, estando seus posicionamentos condicionados diretamente à tectônica frágil que afetou toda a região.

Fica evidenciada uma tectônica dúctil, pela caracterização de zonas de cisalhamento de direção predominantemente, NW-SE, atuante sobretudo nas rochas encaixantes. Outra tectônica de natureza rúptil, representada por juntas e falhas, exibida pelos stocks graníticos.

Falhas e fraturas ocorrem indistintamente nas rochas encaixantes e no albita-granito, podendo ser observada a manutenção dos esforços segundo o trend NW-SE, admitindo-se para a área, que são falhamentos oblíquos, além dos mecanismos de transensão, responsáveis pelo posicionamento e desenvolvimento dos corpos graníticos da região (Meneses & Barroso Filho, 1995).

De acordo com Bezerra & Moser (2000), a deformação na região de ocorrência do Stock São Paulo, está caracterizada por intenso grau de faturamento que atingiu todas as unidades litológicas. O padrão de faturamento mais frequente

na área, obedece duas direções preferências N 80°Az e N 160° Az, existindo porém, outros padrões de faturamento, como por exemplo, de direção N-S.

A natureza frágil da deformação, parece ter afetado de maneira distinta os diferentes litotipos mapeados. O Stock granítico São Paulo, respondeu de forma mais competente a estes esforços, sendo cortado por zonas cisalhadas que compõem os sistemas N 80°Az e N 160°Az (Bezerra & Mozer, 2000).

A tectônica rúptil que atingiu os litotipos da região, inclusive o Stock granítico de Morrinhos, com intenso diaclasamento, corresponde provavelmente, a principal causa da baixa taxa de recuperação da Jazida Asa Branca.

CARACTERIZAÇÃO DA JAZIDA ASA BRANCA

A Jazida Asa Branca ocupa parcialmente o maciço rochoso do Stock denominado Morrinhos, de forma subcircular, com raios de 2,5 e 2,0Km, ocupando uma área de aproximadamente 5,0Km². Este corpo intrusivo, é litologicamente constituído por granito lencocrático de coloração esbranquiçada, textura fenerítica equigranular de granulação de média a grosseira. Comercialmente, recebe diferentes denominações, tais como, Asa Branca, Branco Ceará, Branco Cristal e Branco Polar.

Macroscopicamente, este litotipo possui uma composição mineralógica com plagioclásio (albita), cristais de quartzo (prismas) e micas (biotita, muscovita); dispersos na matriz feldspática.

Ao microscópio exhibe uma textura hipidiomórfica, com mineralogia essencial constituída de plagioclásio (albita), K-feldspato (microclina) e micas (muscovita e biotita). Como acessórios, apresenta topázio, fluorita, zircão, opacos e minerais secundários. Os plagioclásios, em geral, estão associados ao quartzo e às micas mostrando processos de seritização.

Quanto à gênese, provavelmente, esta rocha é um granito metassomático de origem tardi ou pós-magmática, sendo classificado como Albita-Granito ou Granito-Albitizado (Roberto, 1998).

As características tecnológicas do granito Asa Branca (Albita Granito) foram determinadas através de ensaios, tais como, massa específica aparente, porosidade aparente, absorção d'água, resistência à flexão, resistência a compressão, desgaste de *Amsler* e coeficiente de dilatação.

A tabela 1 apresenta o resultados dos ensaios tecnológicos efetuados em amostras do supramencionado granito e mostra os parâmetros (valores) especificado pela ASTM (Norma C 615) e os sugeridos por Frazão & Farjallat (1995).

Tab. 1 – Resultados dos ensaios tecnológicos do granito Asa Branca e valores especificados pela ASTM e sugeridos por Frazão & Farjallat (1995).

| PROPRIEDADES | RESULTADOS DO GRANITO ASA BRANCA | VALORES FIXADOS PELA NORMA C 615 – ASTM | VALORES SUGERIDOS PELO IPT-SP (FRAZÃO & FARJALLAT(1995)) |
|---|----------------------------------|---|--|
| Massa específica aparente (g/cm ³) | 2,607 | ≥ 2,560 | ≥ 2,550 |
| Porosidade aparente (%) | 1,19 | n.e. | ≤ 1,0 |
| Absorção d'água (%) | 0,46 | ≤ 0,4 | ≤ 0,4 |
| Velocidade de propagação de ondas (m/s) | - | n.e. | ≥ 4000 |
| Dilatação térmica linear (1/10 ³ /mm/°C) | 6,6 | n.e. | ≤ 12,0 |
| Desgaste <i>Amsler</i> (mm) | 0,74 | n.e. | ≤ 1,0 |
| Compressão uniaxial (MPa) | 107,0 | ≥ 131,0 | ≥ 100 |
| Flexão (módulo de ruptura) (MPa) | 16,7 | ≥ 10,34 | ≥ 10,0 |
| Módulo deformabilidade estática (GPa) | - | n.e. | ≥ 30,0 |
| Impacto de corpo duro (m) | - | n.e. | ≥ 0,4 |

Tabela modificada e adaptada de (Roberto, 1998)

n.e. = não especificado

Ao analisar a tabela 1, verifica-se ausência dos resultados para velocidade de propagação de ondas, módulo de deformabilidade estática e impacto de corpo duro. Quanto ao resultado de compressão uniaxial (107,0), está abaixo do valor fixado pela ASTM (norma C 615), encontra-se dentro da faixa sugerida por Frazão & Farjallat (1995). Observa-se que os demais resultados estão dentro dos parâmetros especificados e sugeridos acima, exceto os de porosidade aparente e absorção d'água que estão um pouco acima dos valores limites, contudo, o granito Asa Branca possui características tecnológicas suficientes para ser utilizado como rocha de revestimento.

No que se refere a lavra, inicialmente as frentes foram posicionadas e abertas aproveitando-se as fraturas de esfoliação (juntas de alívio) horizontais e subhorizontais, as quais, serviram como plano de base das bancadas.

Posteriormente, a lavra foi executada em painéis verticais, com altura em torno de 5-6 metros, comprimento com variação de 15-30 metros e largura por volta de 6,4 metros. Para isolar as partilhas, as aberturas laterais eram feitas por *flame-jet*. A liberação total das bancadas era efetuada através da tecnologia de perfuração e explosivos cordel detonantes onde eram feitos furos verticais e horizontais (Roberto, 1998).

Atualmente, é adotada uma tecnologia mista de lavra, onde destaca-se principalmente a tecnologia de fio diamantado, massa expansiva seguida de cunha, evitando assim, o uso da técnica de explosivo. Quanto à produção, há cinco anos (1996), a Pedreira Asa Branca produziu em torno de 508m³/mês. No ano 2000, atingiu a média mensal de 1.000m³, totalizando 12.000m³/ano, em blocos convencionais para teares, com uma taxa de recuperação de apenas 27%.

No ano em curso (2001) tem apresentado uma produção mensal de 900m³, indicando uma queda de 10% em relação à produção do ano próximo passado, com uma taxa de recuperação ainda menor em torno de 24%. Resultando uma taxa de recuperação média de 25,5%.

Mesmo com essa reduzida taxa de recuperação, a mencionada pedreira é, atualmente, a jazida de rocha ornamental de maior produção no Estado do Ceará.

ESTUDO PARA APROVEITAMENTO DE REJEITOS

Breve Histórico

Ao montar uma pequena fábrica para beneficiamento de rochas ornamentais com capacidade de produção de 800m²/mês em ladrilhos com dimensões de 30x30cm e 10mm de espessura, tornou-se necessária a obtenção da matéria-prima (em torno de 500 bloquetes/mês) para atingir essa produção. Esses bloquetes de forma cúbica teriam que ter arestas de 0,35 metros e apresentar boa simetria.

Terceirizando a extração dos bloquetes, observou-se que o suprimento ficava a desejar no aspecto de prazo e qualidade (defeituosos).

Desse momento em diante, tentou-se suprir as máquinas com extração própria de bloquetes. Com essa finalidade foram requeridas algumas áreas para pesquisa de granito na Região Metropolitana de Fortaleza e em seguida formada uma equipe de seis operários, os quais possuem alguma experiência, com o objetivo de extrair bloquetes de gnaisses e granitos em matacões e em maciços rochosos.

Em virtude do difícil acesso às áreas das jazidas em exploração no período chuvoso, principalmente nos maciços rochosos, tornou-se insignificante, e como consequência não se atingia a meta de produção de ladrilhos.

Diante deste quadro, foram realizadas algumas viagens pelo interior cearense quando foram encontradas duas pedreiras de rocha ornamental, as quais, abandonadas, com grande volume de rejeitos acumulado, inclusive com vários blocos convencionais defeituosos que poderiam ser aproveitados na confecção de bloquetes. Os defeitos mais comuns eram blocos fora das dimensões padrões, presença de veios, enclaves, trincas e fissuras.

Trabalhando com o aproveitamento dos rejeitos a produção diária que anteriormente era de 6 a 8 bloquetes/homem, subiu para 10 a 12 bloquetes/homem, apresentando uma recuperação de 70 a 80% no rejeito (trabalhando os blocos convencionais defeituosos).

Dessa forma foi resolvido o problema de matéria-prima, mas o caso do processo industrial no sistema talha-blocos, tipo multidisco, apresentava na ocasião, três problemas básicos:

- a) As máquinas não suportavam o ritmo contínuo de operação, quebrando com uma certa frequência, reduzindo a produção;
- b) Os insumos (serras diamantadas) não rendiam aquilo que os fornecedores garantiam;
- c) Havia dificuldade na comercialização dos ladrilhos, pois as restrições quanto ao tamanho dos ladrilhos fazia baixar o preço do material acabado.

A partir desta experiência surgiu a idéia de desenvolver esta monografia, estudando o aproveitamento do rejeito da Jazida Asa Branca, transformando os rejeitos das pedreiras em bloquetes para serem beneficiados também como rocha ornamental, evitando-se dessa maneira, a utilização do rejeito como subproduto de material de menor valor.

Os bloquetes extraídos do rejeito têm formas e dimensões que permitam o beneficiamento em talha-blocos (Multidiscos) a discos diamantados para a produção de ladrilhos para pisos e revestimentos nas dimensões absorvidas pelos mercados local e nacional.

Volume do Rejeito

Baseando-se na produção e recuperação da Pedreira Asa Branca nos períodos de janeiro a dezembro de 2000 e de janeiro a agosto de 2001, que foram, respectivamente, de 12.000m³/ 27% e de 7.200m³/ 24%. O rejeito gerado nos dois períodos foi de 32.444 m³ (73% do volume extraído) e 22.800 m³ (76% do volume extraído), totalizando 55.244 m³.

Considerando que o aproveitamento do rejeito em bloquetes seja de apenas 1/3 do volume (18.414 m³) atinge-se a uma taxa de recuperação na ordem de 24,5%, que somada a taxa de recuperação média em blocos convencionais (25,5%) se elevaria a taxa de recuperação da jazida para 50%.

Características dos Bloquetes

Visando maximizar o aproveitamento do rejeito de Jazida Asa Branca e posterior beneficiamento em talha-blocos (Multidiscos) a serras diamantadas para produzir ladrilhos de 40x40cm, são propostos dois tipos de bloquetes-padrão. (Fig.2)

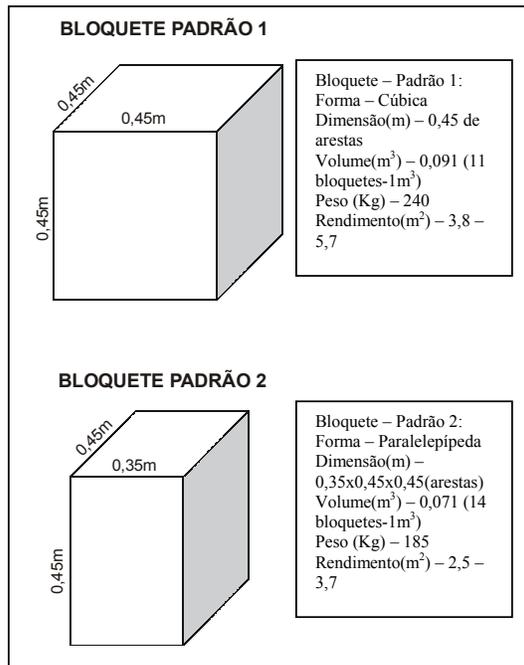


Fig. 2 – Formas e dimensões dos bloquetes-padrão

Extração dos Bloquetes

Praticamente, a extração dos bloquetes no rejeito dispensa qualquer mecanização. O material e instrumentos (ferramentas) utilizados são aqueles usuais no processo de esquadrejamento e desbaste dos blocos convencionais. Os quais são: Explosivo (pólvora preta) e estopim, marretas, pinchotes, ponteiros, cunhas, alavancas e esquadros. Além dessas ferramentas é necessário material para afiar e dar a têmpera dos aços utilizados no corte.

Quanto a mão-de-obra, geralmente encontra-se ociosa no interior do Estado, em regiões onde existem pedreiras para extração de paralelepípedos e meio-fios, portanto, possuem experiência em esquadrejamento e desbaste, os operários de apoio são mão-de-obra disponível na região onde se localiza a pedreira e/ou jazida.

A produção de bloquetes (forma cúbica) é em média de 08 unidades / homem / dia, o que equivale a 200 bloquetes / homem / mês, correspondendo a uma produção mensal de aproximadamente 18m³ de rocha ornamental / homem, que significa uma produção muito elevada.

Transporte dos Bloquetes

Em virtude dos pequenos volumes, o peso dos bloquetes varia de 185 a 240Kg, facilitando assim, o deslocamento dos mesmos nas proximidades do rejeito, onde são rolados ou tombados e colocados em carro-de-mão reforçado que faz o transporte para o carregador (elevação de terra no nível das carrocerias dos caminhões).

Os veículos mais indicados para o transporte são os caminhões *Truck* e as carretas, por possuírem maior capacidade de carga.

O carregamento é efetuado a partir de carregador, através de vigas de madeira que ligam à carroceria do caminhão com tombamentos ou carro-de-mão.

Tanto o deslocamento como o carregamento dos bloquetes pode ser agilizado usando-se pás mecânicas e caminhões *Munck*.

Um caminhão *Truck* tem capacidade de transportar de 60 a 80 bloquetes e uma carreta de 120 a 160 bloquetes, respectivamente para os bloquetes cúbicos e paralelepípedos.

Beneficiamento dos Bloquetes

Conforme foi frisado no sub-título **Características do Bloquetes**, os mesmos têm formas e dimensões visando o beneficiamento em talha-blocos no sistema multidiscos, este processo de beneficiamento consta dos seguintes equipamentos: fresadora, talha-blocos (Multidiscos), aplainadora (calibradora), esquadrejadora e poltriz.

Este conjunto tem condições de produzir ladrilhos prontos e acabados, com boa qualidade, em tamanhos de 40 x 40cm em espessuras mínimas.

Para cada metro cúbico de rocha ornamental, espera-se o seguinte rendimento: Bloquetes cúbicos – 40m² em ladrilhos na espessura de 10,0mm e 60m² na espessura de 6,0mm. Bloquete na forma paralelepípeda – 35m² em ladrilhos na espessura de 10,0mm e 50m² na espessura de 6,0mm.

Observa-se então, que cada metro cúbico de rocha ornamental beneficiado em talha-blocos resulta

em rendimento superior ao de sistema tradicional em teares, que é em média de 35m².

CONCLUSÕES

É possível aumentar a taxa de recuperação e otimizar a produção da supramencionada jazida utilizando seu rejeito, com a extração de bloquetes, para beneficiamento em talha-blocos no sistema multidiscos. Podendo ser trabalhados em rejeitos acumulados ou aqueles que estão sendo gerados por ocasião da exploração de blocos convencionais.

Considerando somente 1/3 do volume de rejeito gerado no período de 20 meses citado anteriormente, que corresponde a 18.414m³, se transformados em bloquetes e beneficiados em talha-blocos (multidiscos) a serras diamantadas, podem gerar uma produção de 920.700m² em ladrilhos de granito para pisos e revestimentos.

Visando um maior aproveitamento do rejeito, são propostos dois tipos de bloquetes-padrão, nas formas cúbica e paralelepípeda para a produção de ladrilhos de 40 x 40cm. Evita-se desse modo, o desperdício do rejeito de rochas ornamentais em um possível aproveitamento como subproduto.

A extração de bloquetes em rejeitos é uma lavra seletiva, simples e manual, não requerendo maquinaria pesada e mão-de-obra especializada e a custos baixos.

A produção média de rocha ornamental de 200 bloquetes / homem / mês ou 18m³ / homem / mês pode ser considerada excelente.

O rendimento do metro cúbico de rocha ornamental em bloquetes, através do beneficiamento em multidiscos a serras (discos) diamantadas pode atingir uma média de 55m², enquanto que no sistema convencional (teares) a média é de 35m².

Outro aspecto importante nesta pesquisa é que, com o aproveitamento do rejeito, minimiza-se os impactos ambientais na área da jazida.

Em suma, o rejeito das jazidas de rochas ornamentais que geralmente não são aproveitados e quando existe um aproveitamento é como subproduto (brita, paralelepípedo, pedra tosca, etc.), nesta pesquisa, indica-se uma alternativa de aproveitamento dos rejeitos como o principal recurso econômico: ROCHA ORNAMENTAL.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARTHAUD, M. H.; VASCONCELOS, A.M.; NOGUEIRA NETO, J.A.; OLIVEIRA, F.V.C.; PARENTE, C.V.; MONIÉ, P.; LIÉGEOIS, J.T.; CABY, R. & FETTER, A. **Main Structural Features of Precambrian Domains from Ceará (NE Brazil)**. 14th International Conference on Basement Tectonics. Ouro Preto, MG – Brazil. 1998. p. 84-85
- BEZERRA, C. P. V. & MOSER, L. G. **Mapeamento Geológico a Noroeste de Santa Quitéria e**

Avaliação Econômica do Serrote São Paulo. Fortaleza: UFC / PROGRAD / DEGEO, 2000. Monografia (Graduação em Geologia). 56 p.

- BRAGA, A. de P. G.; PASSOS, C.A.B.; SOUZA, E.M. de; FRANÇA, J.B. da; MEDEIROS, M. de F.; ANDRADE, V. A. de. **Projeto Fortaleza.** CPRM/DNPM, Recife, Vol. I. 1977.
- BRITO NEVES, B.B. de. **Regionalização Geotectônica do Pré-Cambriano Nordestino.** Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, USP. São Paulo. 1975. 198 p.
- BRITO NEVES, B.B. de. **O Mapa Geológico do Nordeste Oriental do Brasil. Escala 1:1.000.000.** Thesis (Livre Docência). USP, São Paulo. 1983. 177 p.
- CABY, R.; SIAL, A.; ARTHAUD, M. H.; VAUCHEZ, A. 1991. Crustal evolution and Brasiliano orogeny in Northeast Brazil. In: Dallmeyer, R. D. & Lecorhè, J. P. (ed.) *The West African Orogens and Circum Atlantic Correlatives*, Springer-Verlag, 373-397.
- CAMPOS, M. de; BRAGA, A. de P. G.; MELLO, A.A. de; SOUZA, E.M. de; SILVA, F.A.F. da; FRANÇA, J.B. da. **Projeto Rio Jaguaribe.** CPRM / DNPM, Vol. I. 1979.
- FRAZÃO, E.B. & FARJALLAT, J. E. S. **Características Tecnológicas das Principais Rochas Silicáticas Brasileiras Usadas Como Pedra de Revestimento.** Lisboa. 1995 s.p. (Trabalho submetido ao Congresso Internacional da Pedra, Lisboa, 1995)
- KEGEL, W. **A Estrutura Geológica do Nordeste do Brasil.** DNPM, Div. Geol. Min., Rio de Janeiro, Bol. (227). 1965. p. 01-52
- MENESES, S. de S. & BARROSO FILHO, F. A. T. **Levantamento Geo-Econômico da Parte Sudeste da Folha Santa Quitéria, Região dos Serrotes São Paulo e Morrinhos-CE.** Fortaleza: UFC / PROGRAD / DEGEO, 1995. Monografia (Graduação em Geologia). 77 p.
- ROBERTO, F. A. da C. **Rochas Ornamentais do Ceará – Geologia, Pesquisa, Lavra, Beneficiamento e Mercado.** Fortaleza: UFC / DEGEO, 1998. Dissertação (Mestrado em Geologia). 225 p.

PROPOSTA PARA UM PLANO DE AÇÕES INTEGRADAS PARA O SETOR DE ROCHAS ORNAMENTAIS DO NORDESTE

Francisco Diniz Bezerra

Analista de Negócios do Banco do Nordeste
Escritório Técnico de Estudos Econômicos do Nordeste - ETENE
Av. Paranjana, 5700 – Passaré – 60740-000 – Fortaleza - CE
Fone: (85) 299-3411 - Fax: (85) 299-3474 - E-mail: diniz@banconordeste.gov.br

RESUMO

Em função da existência de diversos fatores que concorrem para a obtenção de menores custos em sua cadeia de produção e comercialização, a indústria de rochas ornamentais localizada no Sudeste, principalmente no Espírito Santo, apresenta maiores vantagens para concorrer no mercado brasileiro através da adoção de estratégias de baixo custo, quando comparada com sua congêneres sediada no Nordeste. Ante a inadequabilidade da indústria nordestina de rochas ornamentais concorrer no mercado brasileiro, caracterizado em grande parte por sua sensibilidade ao fator preço, em detrimento de outros atributos dos produtos, é salutar pensar que a melhor alternativa para a consolidação de um grande pólo de beneficiamento de rochas ornamentais no Nordeste, principalmente de origem granítica, seria averiguar os entraves que dificultam uma maior inserção dessa sua indústria no mercado internacional.

INTRODUÇÃO

O Nordeste brasileiro é caracterizado pela existência de rochas cristalinas na maior parte de seu território, principalmente no grande bolsão semi-árido, onde as oportunidades de investimento são relativamente poucas comparativamente a outras áreas do País. Em função desta característica, o subsolo nordestino apresenta condições favoráveis à ocorrência de granitos ornamentais passíveis de atender às necessidades de consumidores nacionais e estrangeiros, como já se pôde verificar, com a descoberta de inúmeros depósitos de materiais silicatados de diversos padrões, cores e texturas. Apesar disto, a indústria nordestina do setor de rochas ornamentais apresenta desempenho ainda muito tímida no mercado brasileiro e internacional, tendo sido observado em anos recentes, inclusive, a falência de muitas de suas empresas.

Assim, faz-se mister aprofundar a discussão sobre as razões que dificultam uma maior inserção no mercado brasileiro e principalmente no exterior da indústria nordestina de beneficiamento de rochas ornamentais, especificamente de origem granítica.

Dentro deste contexto, o presente trabalho procura disponibilizar elementos e informações que possam contribuir para a elucidação dos fatores que limitam a competitividade da indústria nordestina de beneficiamento de rochas ornamentais no mercado brasileiro e sinaliza com uma sugestão preliminar para a adoção de providências com vistas à

superação de entraves do setor que dificultam sua inserção no mercado internacional.

DESENVOLVIMENTO

Objetivando compreender melhor a competitividade da indústria de beneficiamento de rochas ornamentais do Nordeste, faz-se mister ter-se uma visão mais geral da cadeia produtiva e de comercialização deste setor minero-industrial. Neste sentido, é fundamental a análise das diversas variáveis que interferem direta ou indiretamente na competitividade das empresas do setor.

Observando as características do setor de rochas ornamentais do Brasil, principalmente das rochas de origem graníticas, constata-se, de um modo geral, que as empresas localizadas no Espírito Santo possuem vantagens competitivas em diversos aspectos que as credenciam a disputar o mercado brasileiro com estratégias de baixo custo, ocupando espaço significativo, porquanto prevalece neste mercado, com grande destaque, a opção pelo fator preço.

Procurando-se elucidar melhor a assertiva comentada anteriormente, enumera-se a seguir alguns fatores que concebem vantagens à indústria do Espírito Santo ante suas congêneres sediadas no Nordeste brasileiro:

- existência de inúmeras lavras de granito no Espírito Santo e em outros estados circunvizinhos, possibilitando uma oferta de matéria-prima grande e diversificada;
- concentração nos estados do Sudeste de grande parte das indústrias de insumos (granalha, lâminas, abrasivos etc.), permitindo a aquisição desses produtos com incidência de menores custos de frete, em função de maior proximidade ante os estados nordestinos;
- a maior fatia do mercado brasileiro de rochas ornamentais está na própria Região Sudeste, o que facilita as interações com empresas localizadas em seus estados e enseja menores custos de frete nas transações de produtos acabados e semi-acabados;
- a constituição de um verdadeiro *cluster* de rochas ornamentais no Espírito Santo representa fator importante para a diminuição de custos, pela oferta de profissionais qualificados, ambiente propício aos negócios, interação interfirmas, apoio institucional, dentre outros;

- de um modo geral, as rochas graníticas beneficiadas pela indústria do Espírito Santo são comprovadamente mais “macias” que as utilizadas pelas indústrias existentes no Nordeste, fato que contribui de forma significativa para a obtenção de menores custos de produção.

Todos esses fatores, associados a outros, contribuem para que a indústria do Espírito Santo possa concorrer com vantagens através de estratégias de baixo custo no mercado nacional.

Diante do exposto, pode-se afirmar que, para o mercado brasileiro de rochas ornamentais, especialmente granitos, a adoção de estratégias de baixo custo pelas empresas de beneficiamento primário sediadas no Nordeste não se configura viável, restando averiguar os nichos deste mercado onde as mesmas possam concorrer através de estratégias de diferenciação, comercializando produtos/serviços que justifiquem, na ótica dos clientes, o pagamento de preços mais elevados.

No entanto, o mercado "extra-preço" do Brasil é relativamente pouco expressivo, pois é representado por uma fração minoritária de cerca de R\$ 600 milhões/ano¹. Assim, presume-se não ser muito exequível a consolidação de um grande pólo de beneficiamento de rochas ornamentais no Nordeste, com o objetivo de ocupar parcela significativa do mercado brasileiro.

Desta forma, visando-se um crescimento expressivo da indústria de beneficiamento de rochas ornamentais sediada na Região Nordeste, é razoável pensar que a melhor opção, para as empresas que apresentam baixa competitividade no mercado interno no âmbito de estratégias de baixo custo, seria averiguar seu desempenho competitivo no mercado internacional, estimado em US\$ 8 bilhões/ano², muito mais amplo, portanto, que o brasileiro.

Como forma de caracterizar que a indústria nordestina de beneficiamento de rochas ornamentais pode alcançar um espaço muito maior no comércio internacional, apresenta-se a figura a seguir, que mostra a evolução das exportações brasileiras e nordestinas de granito beneficiado para os Estados Unidos, relativas ao Código NCM (Nomenclatura Comum Mercosul) 6802.23.00 (Granito talhado ou serrado, de superfície plana ou lisa). Observa-se, na figura, que o crescimento nos últimos anos das exportações brasileiras tem-se dado praticamente de forma exponencial, atestando que há empresas no País capazes de ocupar posição de destaque no cenário internacional. Por outro lado, as exportações nordestinas não tiveram o mesmo desempenho da brasileira, significando que há entraves no setor

¹ De acordo com Cid Chiodi Filho, as transações comerciais com mármore e granitos, no mercado brasileiro, atingem R\$ 600 milhões/ano, sendo R\$ 540 milhões relativos à venda de chapas e R\$ 60 milhões correspondentes à comercialização de blocos (Revista Rochas de Qualidade, 150 ed., jan/fev/2000, p.132).

² Segundo Cid Chiodi Filho, as transações internacionais com blocos e produtos acabados de rochas ornamentais correspondem a cerca de US\$ 8 bilhões/ano (Revista Rochas de Qualidade, 150 ed., jan/fev/2000, p.129).

regional de rochas ornamentais que precisam ser identificados e equacionados, para que o mesmo possa fazer jus ao seu potencial de crescimento.



Fonte: Adaptado a partir de dados obtidos junto à SECEX

CONCLUSÃO

Considerando o potencial existente na região Nordeste para o setor de rochas ornamentais, especificamente para o setor de rochas de origem graníticas, muitos benefícios poderiam advir da consolidação de um grande pólo de beneficiamento desses materiais, sobretudo com o aproveitamento de materiais regionais. No entanto, para que isto seja possível, é necessária uma maior compreensão dos fatores que dificultam o desenvolvimento dessa atividade mineiro-industrial no Nordeste, de forma a se poder traçar estratégias para a superação dos empecilhos que retardam o seu crescimento no mesmo nível do brasileiro.

Para tanto, defende-se a aglutinação dos diversos atores da sociedade interessados no desenvolvimento da atividade mineiro-industrial de rochas ornamentais do Nordeste em prol da realização de um plano de ações integradas, que culmine na identificação das dificuldades enfrentadas pelas empresas atuantes no setor para terem sucesso no mercado externo, remoção dos gargalos que interferem na fluidez da produção, transporte e comercialização e, sobretudo, na implementação de uma política exportadora para o setor.

Para concretização e operacionalização do plano em questão, propõe-se para as entidades interessadas no setor de rochas ornamentais do Nordeste a discussão das seguintes ações:

- Identificar empresas com perfil exportador ou com potencial para tal, interessadas em alcançar o mercado internacional;
- Condensar diagnóstico dos gargalos existentes na cadeia produtiva e de comercialização da atividade de rochas ornamentais, de forma que possam ser reduzidos ou eliminados; e
- Definir um conjunto de ações a ser implementado pelos atores envolvidos direta ou

indiretamente na atividade, de forma a se perseguir o interesse de aumentar substancialmente as exportações nordestinas de produtos de rochas ornamentais.

INSERÇÃO DOS PRODUTOS BAIANOS NO MERCADO INTERNACIONAL

Ana Cristina Franco Magalhães

Assessora da Presidência da Companhia Baiana de Pesquisa Mineral
4ª Avenida, 460 – CAB – 41.745-000 – Salvador - BA
Fone: (71) 370-7453 - 91396649 - E_mail: acfm@cbpm.com.br

O segmento de rochas ornamentais da Bahia tem lugar de destaque no cenário nacional, quer pela exclusividade cromática de alguns de seus materiais, quer pela vocação geológica do seu território para a exploração dessas rochas. A cada ano novos materiais com padrões e cores diferenciadas conquistam mais mercados.

A produção de rochas ornamentais na Bahia foi iniciada do final dos anos 50 ao início dos anos 60, com a produção do mármore Bege Bahia, mas só no final dos anos 60, com a descoberta da Sodalita-Sienito, após um considerável período de testes de mercado pela Europa, no começo dos anos 70, iniciou-se a lavra e exportação deste produto. Ainda em meados dessa mesma década, foi descoberto o quartzito Azul Macaúbas, que logo obteve uma boa aceitação no mercado internacional, pela excepcionalidade do seu padrão cromático. Em 1979 passou-se à exportação de um novo produto - o granito Red Bahia ou Vermelho Tanquinho. Após uma década sem lançar novos produtos no mercado internacional, a Bahia inicia de forma tímida a colocação de novos produtos no mercado internacional, no final dos anos 80.

No início da década de 90, o Governo do Estado da Bahia, com base em estudos de economia mineral, realizados pela extinta SGM – Superintendência de Geologia e Recursos Minerais - identificou as potencialidades do segmento de Rochas Ornamentais e passou a apoiá-lo de forma sistemática, através de um amplo trabalho de divulgação da sua potencialidade, apoiado em estudos e ações que vieram a determinar um grande impulso ao seu desenvolvimento.

Tais estudos abrangeram a ampliação do conhecimento geológico e um amplo diagnóstico econômico do segmento. Com base nessas informações, foram detectados os seus pontos fortes, bem como os entraves encontrados para a sua alavancagem econômica. A partir dessas constatações, foram estabelecidas várias ações estratégicas buscando o seu crescimento e fortalecimento.

Como ponto forte, identificou-se que, além da vocação geológica do seu território para a exploração de rochas, havia também dois requisitos básicos para atingir-se com sucesso o mercado internacional: produtos com continuidade de padrão em jazidas de dimensões consideráveis e diversidade cromática capaz de atender diferentes mercados, obedecendo as peculiaridades culturais e modismo de cada um deles.

Passou-se então, como uma das prioridades nas ações de desenvolvimento do segmento, numa parceria entre Estado, sindicato e empresariado, a um intenso trabalho de internacionalização das rochas baianas, onde incluiu-se desde o cadastro de empresas, elaboração de catálogos e posteres, até a participação em feiras nacionais e internacionais.

Como resultado deste trabalho, o Estado da Bahia viu a produção de rochas ornamentais passar de uma participação na PMBC – Produção Mineral Baiana Comercializada – de 2,2%, em 1990, para 6%, em 2000, que, embora pareça pequena, é bastante significativa se levarmos em conta que esse segmento concorre com outros de grande expressividade na economia baiana, a exemplo do ouro, cobre, magnesita, cromo e minerais de emprego direto na construção civil.

A produção comercializada de blocos pulou de 33 mil metros cúbicos, em 1990, para 91 mil, em 2000, já o seu valor de comercialização, que era de US\$6,5 milhões, chegou a US\$21,6 milhões. As exportações de produtos brutos e beneficiados pularam de US\$5 milhões para 21 milhões.

Com esse desempenho, a internacionalização das rochas baianas, que até o início dos anos 90 baseava-se em apenas 4 tipos comerciais para 6 países da Europa, hoje atinge mais de 30 países dos diversos continentes, com cerca de 90 diferentes tipos comerciais.

Atualmente, como produtora de blocos, a Bahia é uma referência nacional e internacional, com uma base produtiva forte e experiente. Já no segmento de beneficiados, ainda não se pode falar em Bahia como referência, porém, como cada etapa de uma pirâmide industrial é construída quando seu alicerce já está bastante fortalecido, o Estado tem como desafio para os próximos anos a elevação e consolidação de um novo patamar dessa pirâmide no mercado de produtos beneficiados.

RELATO DO TRABALHO

O trabalho será apresentado em forma de palestra, ilustrada com transparências, onde enfocaremos a consolidação do subsegmento extrativo do Estado (base da pirâmide industrial do setor), evidenciando as ações de fomento desenvolvidas, como essas ações foram responsáveis pela inserção dos produtos baianos no mercado externo e a adoção de novas estratégias para consolidação do sub-segmento de beneficiamento, iniciando-se com a implantação da "Serraria-Escola".

Roteiro das Transparências

- Identificação da potencialidade do segmento de Rochas Ornamentais, através de um projeto maior – Cadastro do Produtor Mineral;
- Ampla discussão com o empresariado baiano e o Sindicato dos produtores para definição de ações estratégicas;
- Ações adotadas:
 - Cadastramento de todas as pedreiras do Estado, em atividade ou paralisadas, com posterior divulgação através de publicação, propiciando um amplo conhecimento do segmento;
 - Ampliação do conhecimento geológico nas principais áreas de produção no Estado;
 - Divulgação das rochas baianas através da participação nas duas feiras nacionais e realização de uma feira na Bahia junto com um congresso internacional de arquitetura;
 - Elaboração de publicações com informações econômicas:
 - Panorama de Rochas Ornamentais da Bahia, com dados estatísticos de produção e exportação, contemplando as estatísticas nacionais de mercado externo – 1988 a 1992;
 - Rochas Ornamentais da Bahia - Principais Indicadores de 1993 a 1996;
 - Criação do Show Room permanente de rochas ornamentais da Bahia no Museu Geológico da Bahia;
 - Elaboração de um Catálogo de Rochas Ornamentais em Português e Inglês contendo todas as informações técnicas e recomendações de utilização das rochas representadas;
 - Lançamento nacional do Catálogo durante a Feira na Bahia;
 - Lançamento internacional do Catálogo em Workshop, durante a Feira de Verona, com a presença de mais de 500 empresários de todo o mundo;
 - Marketing internacional com a participação em feiras internacionais: Chile, Verona, Carrara, Nuremberg, Indonésia, Taiwan, USA e Portugal;
 - Organização de visitas de missões internacionais a empresas da Bahia;
 - Elaboração e divulgação do “Cadastro dos Produtores de Rochas Ornamentais da Bahia”, atividade permanente com duas atualizações anuais;
 - Elaboração do Poster de Rochas Ornamentais da Bahia;
 - Veiculação de matérias sobre o setor nas principais revistas do mundo;
 - Presença no Cinrochas
 - Elaboração da segunda versão do catálogo em Cd Rom;
 - Elaboração da terceira versão do catálogo em Cd Rom ;
 - Atividades de apoio em infra-estrutura do setor, tais como construção e/ou melhoria de estradas de acesso às pedreiras e eletrificação de pedreiras;
 - Implantação da Pedreira-Escola e Serraria-Escola;
 - Plano Estratégico de aproveitamento do Mármore Bege Bahia.
- Ações a serem adotadas:

- Desenvolvimento do segmento de beneficiamento;
 - Atração de empresas de beneficiamento, insumos e equipamentos, através de incentivos fiscais e promoção de missões empresariais internacionais voltadas à implantação de novos projetos na Bahia;
 - Implantação de Serraria-Escola, que servirá de base para preparação e aperfeiçoamento de mão-de-obra especializada, oferecendo às empresas pessoal capacitado para atuar na produção e gerenciamento de empresas de desdobramento;
 - Ações junto ao Centro Baiano de Design, voltadas especificamente para o setor (a entidade terá o objetivo de formar um conceito de design local que agregue valor aos produtos fabricados na Bahia e os coloque em um padrão de maior competitividade no mercado internacional).

| | | |
|------------------------------------|-----------------------|--|
| | 90 | 2000 |
| PMBC | 2% | 6% |
| Produção | 33.000m³ | 91.000m³ |
| | US\$ 6 milhões | US\$ 22 milhões |
| Exportação | US\$ 5 milhões | US\$ 21 milhões |
| Tipos Comerciais Exportados | 4 | 90 |
| Países | 6 (Europa) | + de 30 (nos diversos continentes) |

BALANÇO MINERAL DE ROCHAS ORNAMENTAIS – 1988 - 2000

Miguel Antonio Cedraz Nery¹ e Emanuel Apolinário da Silva²

¹Engº de Minas do 7º Ds/DNPM, Doutor em Ciências e Professor da Universidade Federal da Bahia
6ª Avenida, 650 – Área Federal - CAB – 41.750-300 – Salvador - BA

E_mail: miguelnery@ig.com.br

²Geólogo do 7º Ds/DNPM

6ª Avenida, 650 – Área Federal - CAB – 41.750-300 – Salvador - BA

RESUMO

Neste trabalho, é feita uma análise sobre o desempenho do mercado de rochas ornamentais e de revestimento ao longo do período de 1988 a 2000. O conceito de rochas ornamentais e de revestimento aqui adotado envolve, tão somente, materiais classificados como mármore e granitos, não estando, portanto, envolvidas, rochas dos tipos ardósias e quartzitos.

O trabalho analisa a evolução das reservas oficiais de mármore e granitos, incluindo uma estimativa sobre as reservas lavráveis. Além disso, estuda o comportamento da produção desses materiais realizada pelo Brasil, discute a participação no país no mercado externo incluindo exportação e importação de material bruto e de material processado, realizando, ainda, um balanço do consumo / produção, bem como uma abordagem sobre a formação de preços desses materiais nos mercados doméstico e internacional.

Originalmente, esse trabalho foi escrito para ser editado pelo DNPM na publicação intitulada “Balanço Mineral Brasileiro 1988 / 2000”, sendo aqui apresentado um texto compactado. Esse documento, constando o texto na sua íntegra, tem lançamento previsto para o primeiro semestre de 2002.

CARACTERÍSTICAS DAS ROCHAS ORNAMENTAIS E DE REVESTIMENTO

a) Definição

Mármore são rochas formadas por metamorfismo de contato ou metamorfismo regional de rochas calcárias ou dolomíticas. Comercialmente, mármore é toda rocha calcária, capaz de ser serrada e de receber polimento, incluindo-se rochas calcárias metamórficas ou sedimentares, tais como calcários cristalinos, travertinos e outros.

De um modo geral, granitos são rochas ígneas, intrusivas e cristalinas, de textura granular, contendo como minerais essenciais feldspato e quartzo. Em termos comerciais, granito é qualquer rocha não calcária, capaz de ser serrada e polida, sendo usada como material de revestimento ou de adorno.

Assim, para efeito deste trabalho, considerou-se como rochas ornamentais de revestimento apenas os mármore, travertinos e granitos que destinam-se, nas formas de blocos e bloquetes, para serragem e polimento, peças e

adornos para decoração. Portanto, não estão aqui incluídas as pedras de cantaria ou de talhe, tais como ardósias, quartzitos etc., que são utilizados sem polimento de face.

b) Campos de Utilização

Mármore e granitos são materiais utilizados em revestimentos de pisos de ambientes internos e externos, e em fachadas prediais, também sendo usados como adornos em geral, além de ter uma grande utilização em artes funerárias, especialmente os de cor escura.

O uso de mármore e granitos em edificações em geral foi motivado por suas características atenderem especificações, também buscadas pelos construtores, também nos demais materiais de construção com aplicações em revestimentos, quais sejam: resistência, durabilidade, baixo custo de manutenção, valor estético, bem como facilidade de aplicação.

Assim, a especificação correta e a aplicação adequada às condições ambientais ou de utilização atuam como vantagens da utilização desses materiais pétreos ornamentais, quer na forma de chapas, ladrilhos, colunas etc.

c) Processo Tecnológico

O setor de rochas ornamentais tem desenvolvido, ao longo dos tempos, diversos equipamentos envolvendo desde tecnologias simples às tecnologias mais avançadas, muitas vezes até com alto nível de automação, o que tem proporcionado elevados índices de produtividade e competitividade de mercado em relação aos produtos concorrentes.

O processo tecnológico inicia-se, normalmente, com a lavra de blocos em sistema a céu aberto. Após a extração dos blocos, o processo de industrialização caracteriza-se pela fase de desdobramento, na qual se incluem serragem desses blocos em chapas, as quais são submetidas a polimento. Também podem ser cortados em dimensões menores, em equipamentos denominados “talha-blocos”, com o objetivo de produção de lajotas ou, ainda, torneados em formatos de colunas em pantógrafos automáticos. Os materiais, muitas vezes refugados nas pedreiras, que não possuem dimensões apropriadas para blocos ou bloquetes, são, muitas vezes, utilizados na feitura de mosaicos para tampos de mesa, objetos de adorno e artesanato mineral diverso.

d) Características Peculiares de Mercado

O principal mercado de rochas ornamentais e de revestimento é o mercado externo, caracterizado pela participação de grandes grupos compradores que controlam o fluxo de material oriundo dos países do Terceiro Mundo em relação aos países industrializados da Europa e Ásia. Além disso, existe em expansão um significativo mercado interno caracterizado, principalmente, pelo consumo de materiais classificados como de segunda e de terceira categorias, mas sem deixar, também, de absorver parte da produção não exportada de material de primeira.

Essa caracterização é determinada pelo grau de homogeneidade da textura da rocha, pela inexistência de imperfeições decorrentes de fraturas preenchidas ou ainda por variação da coloração, em virtude da presença de minerais deletérios. Também podem ocorrer fatores que impliquem na desvalorização das rochas, associados ao desenvolvimento de patologias de superfície, tais como oxidação, descamação, fraturamento etc.

O setor de rochas ornamentais brasileiro ainda apresenta como característica principal a exportação de blocos em bruto, embora, ao longo dos últimos anos, a exportação de material acabado tenha crescido significativamente.

RESERVAS

a) Reservas Oficialmente Aprovadas

As informações mundiais de reservas de rochas ornamentais e de revestimentos não encontram-se disponíveis na literatura especializada. Para o caso específico do Brasil, os valores de reservas considerados neste trabalho advêm das informações prestadas pelas empresas nos Relatórios Anuais de Lavra e publicadas no Anuário Mineral Brasileiro. Desta forma, as quantidades reveladas estão associadas, exclusivamente, aos valores declarados nos citados registros anuais, salvo quando detectada alguma incoerência que tenha necessitado de ajustes pontuais.

b) Qualidade e Tipos de Rochas

Os recursos de mármore e granitos são, em geral, abundantes em boa parte do mundo, em especial aqueles de cores cinza, bege e branco. Alguns tipos fogem a essa regra e apresentam ocorrência mais localizada e jazimentos com menores volumes. Granitos azuis, por exemplo, são restritos ao Brasil, Noruega e Zâmbia. Mármore pretos são encontrados apenas na Espanha, Itália e México. Granitos amarelos se encontram no Brasil e Namíbia. Mármore de coloração específica também são encontrados em localização restrita. No Brasil, são produzidos inúmeros tipos de mármore e granitos. Dos mais comuns e clássicos aos excepcionais, de texturas homogêneas às movimentadas e de cores variadas, tais como cinzas, amarelos, vermelhos, beges, brancos, pretos, verdes, azuis, rosas e violetas.

Normalmente, as rochas ornamentais, sejam os mármore ou os granitos, são classificadas nos tipos de "primeira", "segunda" e até "terceira" categorias, compreendendo, aproximadamente, cerca de 500 tipos distintos em termos de variedades em todo o mundo. Historicamente, a totalidade da produção de material classificado como de primeira vinha sendo destinada ao mercado internacional. No entanto, nos últimos dois anos, tem havido uma reação no mercado interno, provocada pelo aquecimento da construção civil, particularmente em obras de prédios comerciais modernos, edificados nos grandes centros urbanos, especialmente no eixo Rio-São Paulo-Minas, bem como de prédios residenciais destinados às classes de maior poder aquisitivo, seja para atender a padrões estéticos de fachadas, quanto para decoração de ambientes interiores.

c) Grau de Importância e Localização

Face aos diversos métodos e critérios para quantificação de reservas de rochas ornamentais, observa-se que, em muitos casos, tem havido a aprovação, pelo DNPM, de recursos geológicos que não necessariamente encontrariam justificativa técnica e econômica para classificá-los como reservas medidas. Assim sendo, neste trabalho buscou-se realizar uma depuração dos valores superestimados de reservas medidas, sendo realizado um estudo criterioso a partir de um levantamento amostral de informações em campo, nas principais regiões produtoras e compatibilizando-o com aqueles revelados no Anuário Mineral Brasileiro. Desta forma, tornou-se possível afirmar que, atualmente, a Unidade da Federação que detém a maior reserva aprovada de granitos é o Estado do Espírito Santo, seguido por Bahia, Minas Gerais, Ceará, Alagoas, Rio de Janeiro e demais. Quanto aos mármore, na primeira colocação, encontra-se o Estado do Espírito Santo, seguido, também, por Bahia, Rio de Janeiro, Piauí, Minas, Paraná e outros.

d) Evolução das Reservas

No tocante à evolução das reservas medidas, para os próximos anos, é previsto que ocorra um significativo incremento nos valores, determinado pelo critério adotado na base estatística deste trabalho (RAL's), em virtude de novas reservas, decorrentes da iminente outorga de novas portarias de lavra. que, embora possuam relatório de pesquisa aprovado, tais reservas não têm sido computadas na estatística do Anuário Mineral Brasileiro, pela não obrigatoriedade de apresentação dos respectivos Relatórios Anuais de Lavra.

Outro fato que também deverá contribuir para um aumento num futuro breve dos valores das estatísticas de reservas, correspondentes a recursos conhecidos ainda não oficializados, relaciona-se às áreas alvarás de pesquisa em vigência que já se encontram produzindo por guia de utilização mas que ainda não concluíram os seus relatórios finais de pesquisa.

Estima-se que, do total de recursos minerais aprovados como reserva medida, 25% correspondem

às reservas provadas de rochas ornamentais, índice esse utilizado para cálculo dos valores da última coluna da tabela a seguir. Essa estimativa refere-se, assim, à porção de rocha presente *in situ* nas respectivas jazidas e factível de ser aproveitada na forma de blocos em dimensões e qualidade aceitáveis no mercado ou que revele quaisquer aspectos que permitam o aproveitamento comercial (bloquetes, pranchas, maticões para adornos).

O Gráfico 1 revela que, entre o ano 1988 até 1995, as reservas de granitos apresentaram crescimento apenas vegetativo, por força do processo de congelamento das atividades da máquina administrativa do DNPM, ocorrido em função das diversas tentativas de reorganização da estrutura ministerial no País no final da década de 80 e início da década de 90. Até que a Autarquia viesse a ser criada, com as sucessivas mudanças de delegações de poder, inclusive para despacho de aprovação de Relatórios Finais de Pesquisa, muitos relatórios entregues durante o período de 1989 a 1995 não foram analisados ou tiveram as suas aprovações publicadas.

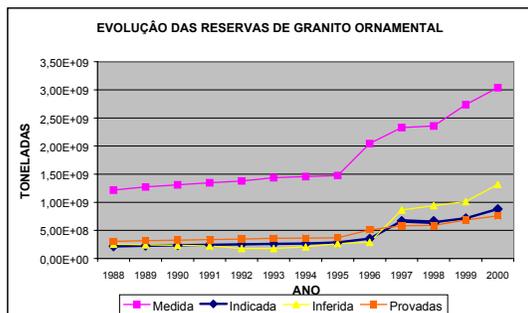


GRÁFICO 1 - EVOLUÇÃO DAS RESERVAS DE GRANITO DE 1988 – 2000

A evolução das reservas de mármore, revelada na Tabela 2 e no Gráfico 2, permite observar que os valores tiveram uma substancial queda, em virtude da ação desenvolvida pelo DNPM através da operação 43, disciplinada pelo Ato das Disposições Constitucionais Transitórias, da Constituição Federal promulgada em 1988. Esse dispositivo constitucional determinou que as áreas que se encontravam com suas atividades paralisadas fossem disponibilizadas para pesquisa ou lavra, deixando, por conseguinte, de terem as suas reservas contabilizadas no Anuário Mineral Brasileiro.

Esse caso ocorreu em áreas de concessão para mármore nos municípios de Jacobina e Juazeiro (Bahia), Cachoeiro do Itapemirim e Guarapari (Espírito Santo), Santana de Pirapama (Minas Gerais), Rio Branco do Sul (Paraná), Palmeira de Goiás (Goiás), Miranda (Mato Grosso do Sul), Campos e Italva (Rio de Janeiro), São Rafael (Rio Grande do Norte), Caçapava do Sul (Rio Grande do Sul) e Benedito Novo (Santa Catarina).

Ainda pelo gráfico, percebe-se que a partir de 1996 ocorreu uma tendência de crescimento das reservas medidas, decorrente da aprovação de relatórios finais de pesquisa para áreas de mármore, ou mesmo em virtude de trabalhos de reavaliação de

reservas, os quais incorporaram parcelas até então classificadas como indicadas ou inferidas.

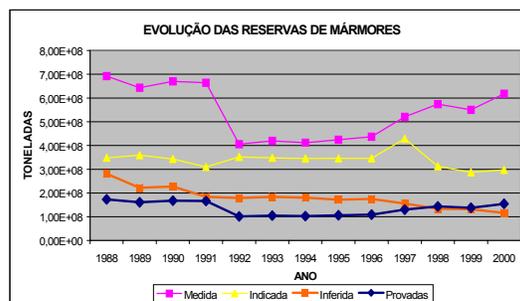


GRÁFICO 2 - EVOLUÇÃO DAS RESERVAS 1988 – 2000

PRODUÇÃO

a) Origem da Produção

Os Estados do Espírito Santo, Minas Gerais e Bahia respondem por 80% da produção nacional. Segundo ABIROCHAS & CETEM (2001), em termos efetivos, o Espírito Santo é o principal Estado produtor brasileiro, com 47% do total. O Estado de Minas Gerais é o segundo maior produtor e responde pela maior diversidade de rochas extraídas. A Bahia que não vinha expressando todo o seu potencial produtivo de rochas ornamentais, tanto em variedade quanto em diversidade, nos últimos dois anos, viveu um relativo deslocamento de empresários capixabas e mineiros, principalmente para a região sudoeste daquele Estado, onde se concentram os principais depósitos de granitos coloridos, movimentados e brancos.

Os principais municípios produtores de mármore do Brasil são Cachoeiro do Itapemirim-ES, OuroLândia-BA, Italva-RJ, Campo Formoso-BA, Fronteiras-PI.

Os principais municípios produtores de granitos do Brasil são Nova Venécia-ES, Barra de São Francisco-ES, São Gabriel-ES, Rui Barbosa-BA, Medeiros Neto-BA, Formiga-MG, Itapeperica-MG.

b) Estrutura do Mercado Produtor

A produção brasileira de mármore e granitos é destinada tanto ao mercado interno quanto ao mercado externo. No País, a maioria das empresas que realizam a lavra de rochas ornamentais e de revestimento mantém algum vínculo com grupos internacionais. Tais relações podem se dar em termos de associações, co-participações, contratos de fornecimento exclusivo ou mesmo como executores de lavra por eles financiada.

As principais empresas produtoras atuantes no País no período, por ordem de importância, são Corcovado Mineração, Stone Mineração, Granasa, Marbrasa, Braminex e Nemer. Todas essas, pelo porte que possuem, individualmente, desenvolvem uma escala de produção superior a 1000 m³ mensais, considerando o total de suas respectivas áreas. Além dessas, existe um outro grupo

expressivo de empresas que operam em escalas relativamente superiores à média de 300 m³/mês ou seja, na faixa dos 500 m³/mês, particularmente no norte do Estado do Espírito Santo, embora apresentem produção, em volume, que as caracterizariam como empresas de médio porte; na verdade, são estruturas de pequeno porte que atendem a grandes demandas do mercado externo.

No Brasil, podem ser identificadas duas formas de competição entre produtores. Uma é estabelecida entre produtores internos, os quais desenvolvem entre si uma concorrência de certa forma suicida, de tal sorte que um novo material, ao ser descoberto, provoca uma avalanche de interessados em produzi-lo, estimulando o estabelecimento de preços cada vez menores e dificultando, dessa maneira, que tal material permaneça no mercado por muito tempo e de forma estável.

O outro nível de concorrência é aquele com os grandes produtores externos que, teoricamente, por estarem mais organizados, tornam-se competitivos pela forma de comercialização adotada, aproveitando o espaço deixado pela concorrência interna que não concentra esforços no controle de nichos e fatias internacionais, tornando-se vulneráveis aos concorrentes chineses, indianos, italianos.

Ressalta-se que, nos últimos cinco anos, tem sido observada uma relativa concentração da atividade produtora de rochas ornamentais e de revestimento. Empresas maiores ou com minas tecnologicamente mais modernas e com canais de comercialização consolidados têm aumentado a sua produção e participação no setor, enquanto empresas menores e com tecnologia inferior têm encerrado as suas atividades.

Em verdade, esse fenômeno pode ser interpretado como decorrência, principalmente, do processo de oligopolização do setor de comercialização em âmbito internacional, associado à afirmação e à aceitação mercadológicas de cada novo tipo de rocha que é ofertado.

Atualmente, o Brasil encontra-se entre os cinco maiores países produtores de rochas ornamentais e de revestimento no mercado mundial, ficando abaixo da Itália, China, Espanha e Índia.

c) Métodos de Produção e Processos Tecnológicos Adotados na Mineração

c.1. Tipos de extração: Escala de Produção das Principais Minas e Grau de Mecanização

No Brasil, normalmente, a extração de rochas ornamentais, seja em jazidas de granito ou de mármore, costuma ocorrer a céu aberto, em cava, em flanco ou por aproveitamento de matacões.

As operações de lavra em matacões consistem de individualizações de pranchas, normalmente com furação contínua, realizada com marteletes pneumáticos. Cada prancha fatiada é

recortada em blocos, em tamanho e quantidade a depender da capacidade volumétrica do tear do comprador.

As lavras desenvolvidas a partir de matacões são normalmente limitadas a cada bloco individualizado mas sempre buscando envolver um maior número possível de blocos, numa mesma circunvizinhança. Esses matacões podem ser originados por descolamento de blocos das encostas de morros, decorrentes de esfoliações ou planos de fraturas, sendo transportados por gravidade (rolados) até a base dessas encostas, ou podem decorrer de fraturas nas rochas, sem sofrer transportes, permanecendo individualizados em blocos no local onde são formados na, formando concentrações desses materiais. Esse fato permite que as operações de lavra sejam flexibilizadas, permitindo a adoção de técnicas de extração a baixo custo.

Essas lavras, apesar do baixo custo, raramente permitem produção em grande escala, sendo desenvolvidas numa faixa entre 50 a 100 m³. Em muitos casos, verifica-se uma significativa variação do tipo de material, raramente obtendo-se a manutenção de padrões uniformes, principalmente quanto a colorações e texturas.

As lavras sobre maciços rochosos permitem a aplicação de diferentes métodos, a depender das condições topográficas e da disposição dos corpos rochosos. Tanto por cava em lavra de bancadas ou por lavra em flanco, as operações com vistas à produção de blocos podem envolver equipamentos específicos, particularmente *flame jet* (maçarico), *slot drill* (corte contínuo), fio diamantado, fio helicoidal (mais utilizado em mármore) consistindo de furação coplanar e paralela realizada por marteletes pneumáticos, com uso de explosivos, bem como lavras com fios diamantados, por vezes sendo permitida a associação de mais de uma técnica. A operação desses equipamentos apresenta vantagens em relação aquelas convencionais, desenvolvidas sobre matacões, em virtude de permitir alta produtividade, maior seletividade dos materiais, obtenção de materiais com padronagem mais uniforme.

c.2. Localização do Beneficiamento

Estima-se que, no máximo, 35% da produção oriunda das pedreiras de mármore e granitos sejam exportados diretamente na forma de blocos. Dos 65% destinados a desdobramento³ no País, uma parte é destinada também ao mercado externo de chapas, ladrilhos, tampos de mesa, bancadas de pias, colunas, entre outros, sendo o restante consumido no mercado interno. Assim, muitos desses blocos desdobrados no Brasil são transportados para unidades de teares normalmente fora das áreas de lavra e circunscritas em perímetros urbanos. Essas unidades de desdobramento pertencem a empresas não necessariamente produtoras de blocos ou de propriedade dos compradores desses blocos. Os pólos que acumulam

³Termo utilizado para designar as operações de corte de blocos de rochas ornamentais em chapas.

os maiores números de teares são Cachoeiro do Itapemirim, São Paulo e Rio de Janeiro.

c.4. Tipos de Produtos do Beneficiamento e de Produtos Finais

Atualmente, as indústrias de beneficiamento no Brasil possuem condições técnica e instrumental para a produção de bens semi-manufaturados tais como chapas polidas, ladrilhos padronizados, colunas, mosaicos, objetos de adorno em quantidade e qualidades competitiva no cenário internacional. ou, ainda, para a produção de bens manufaturados de acabamento final, na forma de pias, bancadas e soleiras.

d) Métodos e Escala de Produção Adotados no Beneficiamento

A indústria de desdobramento nacional tem sofrido uma considerável atualização do seu parque industrial, em que teares e politrizes obsoletos estão sendo substituídos por equipamentos de maior capacidade de corte e polimento. Existem empresas que vêm acompanhando o lançamento de novas tecnologias de corte, a exemplo do tear a fio diamantado, que propicia um rápido desdobramento dos blocos, além de gerar chapas com elevado nível de acabamento, propiciando a elevação da qualidade e a redução do custo com polimento, apesar do investimento ainda representar cinco vezes o que é requerido para um tear convencional de igual capacidade volumétrica.

Estima-se que existam no País, aproximadamente, 1900 teares em atividade, os quais possuem capacidade de desdobramento variável de acordo com o modelo de cada equipamento. Tais capacidades têm evoluído bastante nos últimos anos, existindo aqueles de menor porte, com capacidade de desdobramento equivalente a 35 m³/mês, até os de maior porte de 120 m³/mês (jumbo), todos esses utilizando sistemas de corte baseados no atrito a úmido de barras de ferro com granalha. Como mencionado acima, nos últimos dois anos, surgiram, no mercado, teares tecnologicamente mais avançados, utilizando fios diamantados para o corte de chapas, usando o mesmo princípio de corte realizado nas frentes de lavra.

Além disso, existem os equipamentos conhecidos por “talha-blocos”, utilizados para o corte de blocos com dimensões menores do que aqueles destinados aos teares e para bloquetes, os quais podem possuir dimensões variáveis de 30x30cm e 40x40 cm, com o objetivo de produção de lajotas com espessura de 2 cm para pisos.

Estimativas revelam uma relação “produção comercializada / produção efetiva” de 25%, ou seja, apenas a quantidade correspondente a esse percentual dos blocos cortados nas pedreiras é, efetivamente, comercializada.

e) Evolução da Produção

A produção brasileira de rochas ornamentais que, na década de 80, era constituída,

principalmente, por mármore e travertinos, a partir de então tomou um grande impulso com a abertura de mercado para exportação de granitos destinados, sobretudo, para a Itália e Países Asiáticos. De 1988 a 2000, um número significativo de novas áreas para pesquisa foi requerido ou entrou em atividade, com investimentos expressivos na aquisição de equipamentos para produção de blocos em larga escala, elevando, em muitos casos, a produção média das pedreiras de 100 m³/mês para 500 m³/mês e, em alguns casos, até mais de 1000 m³/mês. Ao longo do citado período, houve diversos momentos conjunturais determinados por condições de mercado ou por aspectos institucionais e governamentais que contribuíram, de alguma forma, para impulsionar, em maior ou menor grau, o desenvolvimento da atividade produtiva.

Assim, em 1992, mereceu destaque a expansão da produção em resposta à demanda no mercado internacional por granitos brancos, tais como *Cotton White* do Ceará, ou branco *Aqua Marina*, o granito Caio e o Pérola do Espírito Santo e do sul da Bahia. Outro fato importante foi o lançamento no mercado dos quartzitos e arenitos vinhos e róseos, bem como aqueles de textura movimentada da Bahia. Na ocasião, a expansão da produção daquele Estado deveu-se, em parte, às atividades das empresas Corcovado Mineração e Pedreiras Valéria Ltda (Peval).

A partir de 1993, o sistema BNDES criou uma linha de financiamento no Programa Nordeste Competitivo para apoiar empreendimentos, dentre os quais o de beneficiamento de rochas ornamentais. Os financiamentos objetivaram a compra de máquinas e equipamentos novos, inclusive importados, a construção de instalações, o desenvolvimento de produtos, além do estímulo ao desenvolvimento de processos e projetos de P&D.

Ao longo da década de 90, particularmente após a implantação do Plano Real, a produção brasileira de rochas ornamentais ganhou um impulso significativo. Tal fato pode ser atribuído tanto ao aquecimento da demanda interna, estimulada por um relativo aquecimento na indústria da construção civil, decorrente da estabilização da economia e da manutenção de tendências arquitetônicas responsáveis pelo crescimento no consumo de rochas naturais para revestimentos, quanto à ação fomentadora e compradora no Brasil, de empresas estrangeiras que atuam na comercialização de blocos no mercado internacional.

Em 1994, o Estado de Pernambuco, dando prosseguimento a uma política de estímulo da produção de rochas, criou dois pólos de beneficiamento nos municípios de Bezerros e Belo Jardim, que vieram a se somar ao pólo de Bom Jardim. Naquele Estado, o financiamento dos pólos de Bezerros e Belo Jardim foi feito através do BANDEPE (Programa PROPEDRAS). Ainda em Pernambuco, naquele ano, ocorreu a implantação de uma nova fábrica de desdobramento de mármore e granitos no Complexo Industrial-Portuário de Suape. Também a partir daquele ano, registrou-se a atuação

de empresas realizando pesquisa de novas jazidas de rochas ornamentais na região amazônica.

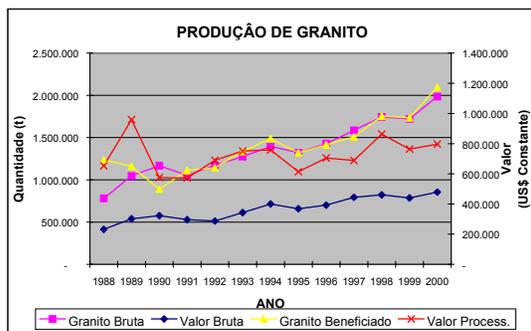


GRÁFICO 3 - PRODUÇÕES DE GRANITOS BRUTO E PROCESSADO

No ano de 1996, constatou-se que a produção interna de rochas ornamentais sofreu uma queda, determinada pela redução da demanda no mercado interno, em decorrência da diminuição da liquidez da moeda e pela retração dos lançamentos de novos empreendimentos no setor da construção civil. Esse desaquecimento fora provocado pelas elevadas taxas de juros e pela redução do crédito de longo prazo para novos financiamentos habitacionais acessíveis para a classe média, associadas à perda de poder aquisitivo dessa faixa de público consumidor.

Observou-se, ainda, naquele ano, a intensificação no uso de concreto aparente, estampado nas fachadas de edifícios de porte, como uma tendência estética conjuntural, o que prejudicou, sobremaneira, o uso de revestimentos lapídeos neste segmento. No final do ano, percebeu-se um certo reaquecimento do setor produtivo de rochas ornamentais em virtude da retomada do setor da construção civil, principalmente decorrente de trabalhos de finalização e de acabamento em unidades habitacionais, que encontravam-se paralisadas ou em obras com atividades anteriormente reduzidas.

Em 1996, também registrou-se um aumento nos convênios de transferência de conhecimentos na operação de serrarias e pedreiras entre especialistas italianos e empresas brasileiras. Assim, o setor passou a se aperfeiçoar e a trabalhar com o parque instalado, não necessariamente implantando novas unidades fabris, salvo no caso de polítrizes, as quais se modernizaram, havendo, assim, a aquisição de novas unidades. Também foi observada uma tendência de especialização e segmentação do setor, na busca de uma maior produtividade, permitindo que muitas serrarias reduzissem a ociosidade dos seus equipamentos, com a prestação de serviços para terceiros.

No ano de 1997, registrou-se, em algumas Unidades da Federação, a suspensão temporária de algumas fontes de financiamento para projetos no setor de rochas ornamentais, após reavaliação de suas carteiras de empréstimos por parte dos agentes financeiros. Desta forma, enquanto o Programa do

Banco do Nordeste que contava com recursos do Fundo Constitucional de Financiamento do Nordeste (FNE) freou sua ação de fomento a investimentos e empreendimentos no setor de rochas ornamentais, o governo do Estado do Espírito Santo manteve a sua linha de financiamento e usou a criatividade para negociar as inadimplências, eliminando-as sem cortar o crédito, o que permitiu ao financiado manter o seu empreendimento em atividade e, conseqüentemente, amortizar as dívidas.

Em decorrência de condições limitadas de negociação do Programa do Banco Nordeste, foi observado, como resultado prático, que empresas instaladas em pólos graniteiros incentivados vieram a se endividar, não mais conseguindo reequilibrar as suas contas, a exemplo daquelas do Ceará e Bahia.

As condições de dificuldades financeiras reveladas implicaram no fechamento de algumas indústrias de desdobramento, recaindo, assim, o ônus dessas dívidas para o agente financeiro, que se mostrou inflexível para a devida negociação. Muitos desses projetos, sem dúvida, não foram inviabilizados apenas pela inflexibilidade do agente financeiro. Em muitos casos, esses projetos foram mal concebidos e mal gerenciados. Assim, a responsabilidade pelo insucesso de muitos desses empreendimentos não se restringiu aos agentes financiadores. Deve-se reconhecer a responsabilidade dos empresários no fracasso dos projetos.

Dessa forma, parte do ativo das empresas falidas retornou para os bancos na forma de equipamentos, os quais encontram-se, atualmente, sob a sua guarda e permanecendo improdutivos, fato que contribui para que esses equipamentos se tornem obsoletos com o tempo. Em conseqüência, ficam reduzidas as possibilidades do banco reaver o investimento realizado e, sem dúvida alguma, esses equipamentos serão sucateados, deixando de cumprir o objetivo social a que foi destinado o financiamento, vindo, ainda, a não manter os postos de trabalho. Desta forma, o sucateamento será inevitável, em decorrência da perda de valor útil e conseqüente redução de valor comercial para os mesmos, dado ao processo de depreciação em virtude da paralisação das atividades daquelas empresas.

Por seu turno, o Espírito Santo, que já revelava uma característica de Estado produtor de mármore, adotou uma política de fomento distinta. Contando com um ambiente de negócios estruturado, com empresas organizadas, muitas delas já consolidadas no mercado, aliado às condições logísticas favoráveis existentes no Porto de Vitória, o setor de rochas promoveu o estímulo à produção de granitos. Para tanto, contou-se com o apoio governamental através de financiamento a atividade produtiva, fomentando a busca de novas jazidas na própria região. Em decorrência, promoveu-se a implantação de lavras de granitos, particularmente na sua região norte, bem como a instalação de indústrias de desdobramento, associada à facilidade de aquisição de máquinas de fabricação nacional originadas do próprio Estado.

Assim, tornou-se possível garantir a continuidade e até mesmo a elevação do nível de intensidade da atividade produtiva de blocos, chapas e ladrilhos. Exatamente como resultado dos incentivos governamentais daquela Unidade da Federação, verificou-se um expressivo fortalecimento das empresas atuação regional, muitas delas vindo a se associar a capitais internacionais, particularmente, originários da Itália.

Com a elevação do nível tecnológico proporcionado pelos novos investimentos, a qualidade dos produtos mostrou-se altamente competitiva, tanto no mercado interno quanto no mercado externo, contribuindo para a consolidação do maior pólo industrial de rochas ornamentais do País, tornando-se uma região de grande atratividade para investidores do setor e compradores de blocos e chapas.

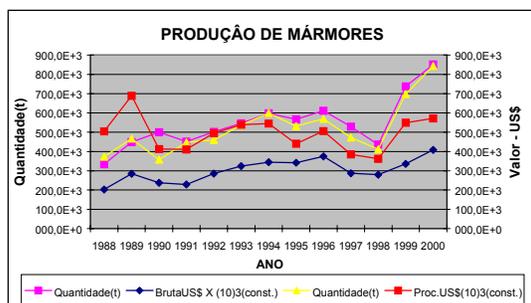


GRÁFICO 4 - PRODUÇÕES DE MÁRMORES BRUTO E PROCESSADO

COMÉRCIO EXTERIOR

Importação

a) Análise do desempenho

Historicamente, o Brasil não tem se caracterizado como um grande importador de granitos em bruto. No entanto, ao longo da série estudada, foi perceptível uma evolução relativa e cíclica nos valores das quantidades físicas consumidas desses tipos de rocha, os quais revelaram um crescimento acumulado de cerca de 1400% até o ano de 1999, atingindo 1300 toneladas, voltando a cair para 340 toneladas em 2000.

O entrada de mármore em bruto no País ao longo do período revelou uma tendência significativamente crescente, acumulando até o ano de 1998 um incremento da ordem 860%. Esse aumento foi estimulado pela superoferta de materiais originados, principalmente, da Espanha, Itália e China, considerados naqueles países como materiais de qualidade inferior, trazidos para o Brasil a baixo preço.

No entanto, no ano de 1999, em decorrência, a desvalorização do real frente ao dólar provocou uma queda na importação brasileira de rochas ornamentais, modificando, naquele ano, a tendência de crescimento das importações.

Quanto à importação de materiais ornamentais e de revestimento processados, verificou-se, a partir de 1993, de forma análoga à importação de mármore em bruto, um significativo incremento na quantidade, evoluindo da faixa de 3.565 t para 66.659,6 em 1999. Ressalta-se que, em junho de 1993, a alíquota do imposto de importação para os capítulos 2515 e 2516 e 6802 passou a ser de 0 (zero)%.

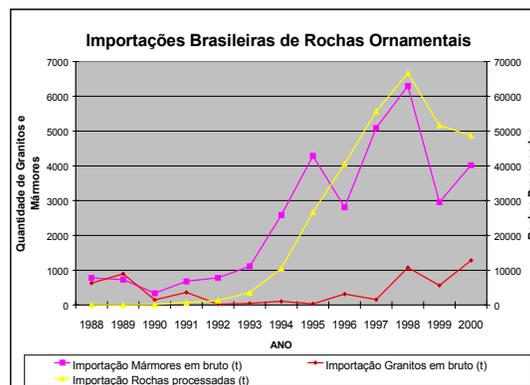


GRÁFICO 5 - IMPORTAÇÃO BRASILEIRA DE ROCHAS ORNAMENTAIS

Outro fato que merece destaque ocorreu em 1996, quando foi observada uma queda substancial nos níveis de importação de mármore, tendo sido adquiridos em menor escala, em decorrência de excesso de estoque de material importado no País, associado à elevação da oferta interna com preços e qualidades competitivos.

A despeito dessa queda localizada na importação de mármores, a tendência geral de crescimento manteve-se até o ano de 2000, quando constatou-se um decréscimo geral das importações. Essa queda, sem dúvida, decorreu da desvalorização do câmbio do dólar, que fez desestimular as importações, sendo que este fato, de forma inversa, atuou positivamente nas exportações, particularmente nas rochas processadas que agregam maior valor. Apesar disso, o patamar das importações ainda permaneceu num nível 1800% maior do que aqueles verificados no ano de 1993.

b) Principais Países de Origem dos produtos importados

Os países de onde o Brasil mais importa materiais produzidos em rochas ornamentais são Itália e Espanha, totalizando na média, em quantidade, mais de 75% da participação, seja de bens primários, semi-manufaturados ou de bens manufaturados.

Apenas no caso do ano de 2000, houve uma diversificação maior na origem dos materiais semi-manufaturados importados, em que a Itália, que possuía uma participação superior a 50%, caiu para 21%, mas ainda mantendo-se na primeira colocação, seguida pela Espanha, Noruega, França e Uruguai. Dos principais materiais oriundos de outros países, ganham destaques o Mármore Branco de Carrara

(Itália), Crema Marfil (Espanha), Rosso Verona (Itália), Nero (Uruguai) etc.

c) Características da Importação – Condições Alfandegárias

No Brasil, os bens primários, semi-manufaturados e manufaturados, produzidos com material classificado como rochas ornamentais e de revestimento, são importados pela via marítima, destacando-se o Complexo Portuário de Vitória-ES, os portos do Rio de Janeiro - RJ, Santos – SP, não necessariamente nessa ordem de importância.

Ao longo da década de 90, observou-se um expressivo crescimento no número de importadores, bem como a instalação de distribuidores europeus no Brasil. No entanto, com a desvalorização do câmbio do real frente ao dólar, a partir do ano 1999, esse segmento sofreu uma substancial redução de seus negócios.

Exportação

a) Características da Exportação e Análise do Desempenho

No período analisado, observou-se um crescimento substancial nas exportações de granito em bruto, os quais tiveram mais do que dobrados os seus valores em quantidade, enquanto que a tendência para os mármore nacionais ocorreu de forma completamente inversa, sendo reduzido a um terço do total verificado no início do período, conforme pode ser visto no gráfico 9.

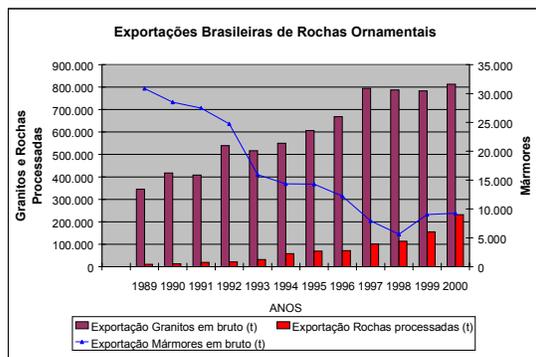


GRÁFICO 9 - EXPORTAÇÕES BRASILEIRAS DE ROCHAS ORNAMENTAIS

O desenvolvimento de tecnologias apropriadas para lavra e beneficiamento de granitos facilitou a produção desses materiais, diminuindo os seus custos, levando a que os produtores nacionais mudassem o seu foco de atenção, os quais passaram a centrar o seu objetivo na produção desses tipos de materiais pelas qualidades que possuem e, como consequência, por conseguirem obter um melhor preço no mercado externo. Assim, em termos mundiais, o País passou a se afirmar muito mais como produtor de materiais graníticos, perdendo espaço os materiais carbonáticos (mármore e travertinos), sobretudo em decorrência da baixa qualidade dos materiais nacionais, os quais não

possuem competitividade, quando comparados aos italianos, espanhóis e portugueses.

Vale ressaltar, ainda, o crescimento da exportação de rochas processadas, decorrente da expansão do parque de teares e politrizes, da melhoria na qualidade dos produtos finais e da consolidação desses materiais nos mercados europeus, nos Estados Unidos e nos Países Asiáticos.

Com a entrada em vigor da Lei Complementar nº 87 (Lei Kandir), de 13 de setembro de 1996, o ICMS nas operações e prestações de serviços que destinem mercadorias ao exterior, incluindo-se os produtos primários e produtos industrializados semi-elaborados ou serviços, foi abolido, ou seja, essas operações e prestações passaram a gozar de isenção fiscal.

Assim, os estados produtores de rochas ornamentais passaram a não mais incidir o ICMS sobre blocos de mármore e de granitos destinados à exportação. Aliado aos incentivos fiscais para exportação, o comportamento do mercado externo de rochas, tanto para mármore quanto para granitos, tem favorecido a uma mudança significativa das exportações nacionais, a depender do tipo de material ou mesmo do nível de transformação. Em se tratando de granito em bruto, ao longo da série, a exportação cresceu 160% em tonagem e 114% em valor (dólar) constante, enquanto que as rochas processadas atingiram um expressivo aumento na ordem de 3600% em tonagem e 969% em valor (dólar) constante.

A exportação de mármore em bruto, por sua vez, apresentou um comportamento visivelmente inverso, quando sofreu uma queda de 69% em tonagem, e 77% em valor (dólar) constante. Pelas particularidades do mercado internacional, justifica-se a queda da exportação brasileira de mármore, em decorrência da ampliação do mercado de granitos. A ampliação das exportações de granito foi consequência da opção feita pelos produtores nacionais em abrir novas pedreiras e vir a trabalhar preferencialmente no mercado externo com materiais graníticos, de maior competitividade, orientando a sua produção de mármore, pouco competitivos, para atender, basicamente, ao mercado interno.

Em decorrência dessas particularidades, o crescimento expressivo da demanda por rochas graníticas no âmbito dos mercados nacional e internacional resultou na substituição do interesse pelo mármore pela procura por esse tipo de rocha, provocando, como consequência, o deslocamento de parte significativa da demanda dos compradores de material marmífero para granitos e, consequentemente, estimulando a oferta destes, tendo os produtores nacionais passado a investir em materiais graníticos. A ocupação de espaço no mercado internacional pelos granitos decorreu, assim, das facilidades proporcionadas pela evolução tecnológica de lavra e beneficiamento, alta produtividade e preços atrativos, aliadas, ainda, à baixa qualidade dos mármore brasileiros.

b) Principais Países de Destino dos Produtos Exportados

Nas exportações de bens primários de rochas ornamentais e de revestimento, historicamente, Itália e Espanha juntas consumiram, em média, 65% das rochas brasileiras exportadas, principalmente granitos amarelos, multicoloridos e movimentados.

Num segundo estrato, encontram-se Bélgica e Formosa, totalizando cerca de 18% em média. Ressalta-se o comportamento de Estados Unidos que, em 1995, consumiram 7% das exportações brasileiras, ao tempo em que, praticamente, reduziram ao mínimo o seu parque industrial de teares, atingindo uma participação insignificante nos quatro últimos anos.

Quanto às exportações de produtos de bens semi-manufaturados, produzidos como rochas ornamentais, os maiores consumidores, especificamente no último ano da série estudada, foram Itália, Alemanha, Bélgica e França. Ressalta-se que, ao longo dos últimos cinco anos, ocorreu uma inversão das posições entre a Bélgica, anteriormente a primeira, e a Itália.

Quanto às exportações de bens semi-manufaturados, nos últimos cinco anos a Itália aumentou seu interesse por produtos brasileiros, assim como Bélgica e Alemanha. Juntos, esses países representaram um consumo médio de 68% do total exportado ao longo do período. Quanto aos bens manufaturados, Estados Unidos são o país que se destaca como o principal consumidor dos produtos brasileiros, atingindo marcas superiores a 50% do total exportado, seguidos por Itália e Bélgica, com 6% e 5% em termos médios, respectivamente.

A exportação de bens manufaturados costuma ter uma grande variação de destino, determinada por contratos de fornecimento em lotes, e de curto prazo. Assim, afóra Estados Unidos, Itália e Bélgica, que já são mercados consolidados, com participações em ordem de grandeza nos percentuais revelados, nos demais casos há uma grande variação no consumo de um ano para o seguinte, motivo pelo qual a estatística associada “outros” é relativamente alta.

c) Condições Alfandegárias: Estrutura Portuária, Isenção Tributária, Custos de Armazenagem

As rochas brasileiras destinadas à exportação são transportadas aos países de destino via navegação. Os principais portos para envio desses materiais para o exterior são Vitória (ES), Rio de Janeiro (RJ), Santos (SP) Salvador (BA) e Fortaleza (CE), sendo que em todos existem depósitos específicos para armazenagem dos blocos até o seu embarque para a necessária movimentação. Como estímulo à exportação de granitos e mármore em forma de bens primários foi concedida a isenção de Imposto de Exportação.

Em 1994, foi estabelecido pela Resolução nº 22, de 19/05/89, do Senado Federal, ainda, que o ICMS recolhido, inclui nas operações no setor de

rochas, em uma mesma Unidade da Federação passaria a ser de 17% e nas operações interestaduais de 12%. No entanto, essas mesmas operações, quando originárias das Regiões Sul e Sudeste e destinadas às Regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste e ao Estado do Espírito Santo, passaram a recolher, nesses casos, sobre a alíquota de 7%. Vale ressaltar que, nesses casos, cabe ao Estado da localização do destinatário o recolhimento do imposto correspondente à diferença entre a alíquota interna e a interestadual. Portanto, se no Estado de saída a alíquota do ICMS for de 7%, a diferença de 12% será paga no Estado de destino, se a alíquota para operações internas neste Estado for de 17%. O ICMS nas exportações, por seu turno, era de 13%. Contudo, para o caso dos produtos elaborados, a legislação permitiu a isenção do tributo, enquanto que os semi-elaborados tiveram sua alíquota reduzida em até 70%.

CONSUMO APARENTE

Estrutura do Mercado Consumidor e Análise do Consumo Setorial

O processo de consumo de rochas sempre foi caracterizado pelo predomínio de poucos grandes compradores internacionais, que mantêm nos diversos países entrepostos avançados, realizando negociações diretas de blocos para exportação selecionados em pedreiras de terceiros ou, por vezes, selecionando de alvos para investimentos em lavra na forma de co-participações.

No entanto, percebe-se que, com a expansão do mercado internacional, e em decorrência da melhoria tecnológica e da estrutura produtiva das empresas produtoras nacionais, as quais passaram a garantir quantidade e uniformidade nos padrões e cumprimento de prazos de entrega, tem havido uma tendência à multipolarização do setor, com a formação de novos grupos compradores, a partir da dissidência dos primeiros.

A consolidação dessa tendência não necessariamente levará o mercado a perder a sua característica de mercado oligopolista. Mesmo assim, com a ampliação do número de grupos atuando no setor comprador, o efeito sobre a demanda terá um resultado positivo, potencializando o setor, na disputa com materiais substitutos às rochas, que passa a ganhar agressividade e competitividade em decorrência do estímulo à própria concorrência entre os grupos. Ressalte-se que os novos grupos, tendem a trabalhar com materiais de lançamento, enquanto que os grupos antigos continuam a operar com materiais tradicionalmente consagrados no mercado.

Evolução do Consumo (1988 – 2000)

Eventos conjunturais no mercado de bens finais, inovações tecnológicas e políticas governamentais, sempre e de alguma forma, interferiram no desempenho do setor de rochas. Nos últimos anos, tem-se observado uma grande evolução nas técnicas de extração e de desdobramento, em muitos casos decorrentes de demandas reveladas em feiras, impondo a que os

diversos fabricantes de equipamentos utilizados para produção de blocos, chapas e adornos viessem a investir em pesquisa tecnológica.

Especificamente, nos últimos dois anos, surgiram no mercado alguns bens de produção e de consumo aplicáveis à produção de rocha, tendo destaque, os equipamentos de lavra a fio diamantado, teares a fio diamantado, *waterjet* (jatos pressurizados de água), *flamejet* (jato de chama), massa expansiva, equipamentos de furação contínua (*slot drill*), perfuratriz para furação horizontal (*horizon* ?), além de politrizes automáticas movidas por sistemas informatizados. Equipamentos auxiliares também têm sido desenvolvidos, a exemplo do coletor de pó associado a martelos pneumáticos, bem como o uso de perfuratrizes hidráulicas.

O advento desses equipamentos no processo produtivo tem resultado numa expressiva diminuição nos custos operacionais, revelando um ganho significativo em produtividade, trazendo, em decorrência, melhores condições de competitividade para os produtos nacionais no mercado externo. Aliado a esses fatos, a mineração de blocos de rochas tem se tornado mais humana, com a melhoria das condições de trabalho, minimizando os riscos e a incidência de doenças ocupacionais.

Estrutura do Consumo Nacional X Mundial e Aspectos Conflitantes

A comercialização de rochas ornamentais apresenta uma estrutura voltada para o comércio de blocos e chapas, com entrepostos de compradores associados aos produtores concentrando seus produtos, normalmente, nas proximidades dos portos nacionais, visando facilitar o processo de seleção de blocos pelos compradores (serradores) internacionais. No caso do mercado interno, normalmente, os serradores compram os blocos diretamente nas jazidas sendo que, na grande maioria dos casos, esses serradores também são detentores de jazidas minerais.

Um outro segmento importante no setor é o de chapas, o qual está dividido em comercialização de chapas em bruto e de chapas polidas. Normalmente, a relação comercial acontece entre os serradores e os consumidores proprietários de marmoraria e/ou com depósitos de distribuição de chapas. Essa sistemática ocorre tanto em nível interno, quanto externo.

Merecem destaque os mercados de pisos e de revestimentos, normalmente produtos originados do recorte de chapas e do desdobramento direto, através de talha-blocos. Neste caso, a negociação da venda é feita diretamente com os depósitos de distribuidores ou com os construtores para aplicação final dos produtos.

Os produtos destinados à arte funerária representam uma significativa parcela do mercado mundial de rochas ornamentais, correspondendo a cerca de 15% desse mercado. Nessa aplicação, destacam-se, como grandes consumidores, os mercados alemão e asiático, que preservam suas

raízes culturais e tradições religiosas, revelando uma preferência pelo consumo de materiais negros e vermelhos.

No caso de colunas, pias e adornos, a solicitação é feita diretamente do consumidor final para o marmorista, sendo que o pedido é feito em lotes, ocorrendo produção em série, de acordo com o projeto idealizado pelo arquiteto ou engenheiro da construção civil. Vale ressaltar a crescente aplicação de rochas em trabalhos paisagísticos, de jardinagem e projetos urbanísticos, muitas vezes utilizando rochas sem aparelhamento de faces e rochas flameadas em bancos, calçadas etc.

Sem dúvida que a atividade desenvolvida pelos grandes compradores estrangeiros de material bruto tem sido bastante positiva, inclusive como forma de ampliar o espectro de comercialização das rochas brasileiras no mercado externo, o que, como conseqüência, promove a divulgação dessas rochas, induzindo ao aumento da produção nacional.

Possibilidades de Substituição e seus Efeitos sobre a Demanda

Em 1998, a ALCAN lançou novo produto concorrente de rochas de revestimento: o "*allcap décor*", consistindo de placas de alumínio de espessura de 1,2 mm, voltada para revestimentos interiores, na mesma linha do "*wallcap façade*", de 2 mm para exteriores.

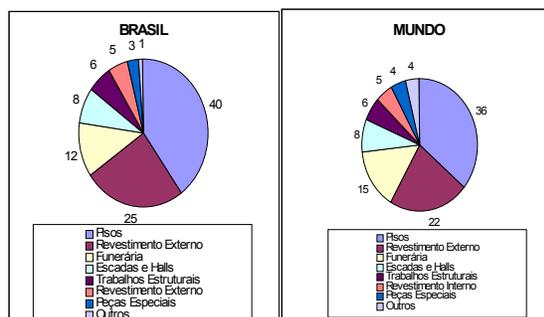


GRÁFICO 13 - CONSUMOS SETORIAIS DAS DISTRIBUIÇÕES RELATIVAS NACIONAL E MUNDIAL

Além da cerâmica, tradicional produto concorrente das rochas ornamentais, particularmente os grés porcelanatos, e das placas de alumínio, já comentados neste trabalho, nos últimos anos surgiram materiais rochosos, de qualidade inferior, os quais são tingidos intracristalinamente de forma artificial, obtendo-se efeitos exóticos e muitas vezes similares aos naturais. Outros materiais concorrentes que têm se destacado no mercado são os agregados minerais, desenvolvidos a partir das sobras de materiais tradicionais como os granitos azuis, amarelos etc., que após britados, são compactados e resinados como blocos sólidos de dimensões convencionais, sendo, então, desdobrados em chapas ou lajotas devidamente polidas.

Apesar do surgimento de alguns materiais concorrentes ou substitutos de rochas no setor de revestimentos, o quadro de consumo, particularmente

no mercado externo, não aponta para perspectivas de significativa influência na demanda dos materiais tradicionais, que já possuem mercado consolidado em função das suas características estéticas. No caso dos novos tipos de rochas, no entanto, estes podem sofrer algum refreamento no processo de consolidação ou de ampliação de novos mercados.

Os mármore brasileiros, diferentemente dos granitos nacionais, possuem um espaço restrito de competitividade no cenário internacional, haja vista que países como Itália, Espanha, Portugal e, recentemente, Grécia e Índia têm disponibilizado para o mercado mundial materiais de qualidades significativamente superiores, particularmente em termos estéticos e de rara beleza.

Quase a totalidade da produção brasileira de mármore é consumida no mercado interno, com destaque para os mármore brancos (sul do Espírito Santo e norte do Rio de Janeiro) mármore do Estado da Bahia, principalmente os travertinos (Bege Bahia) de larga aceitação nacional, destacando-se como fortes consumidoras as regiões Sul e Sudeste do Brasil. Cita-se, ainda, outras áreas produtoras de mármore nas cores verde, rosa (Bahia), preto florido (Leme, MG), chocolate (ES) e o branco (PI).

O consumo desses materiais oriundos de rochas ornamentais e de revestimento no Brasil é distribuído setorialmente entre diversos usos, sendo que a participação relativa mais representativa corresponde aos segmentos de Piso (40%), Revestimento Externo (25%), Funerária (12%), Escadas e Halls (8%), Trabalhos Estruturais (6%) Revestimentos Internos (5%), Peças Especiais (3%) e Outros (1%).

PREÇOS

Estrutura de Mercado x Preço

No Brasil, os preços dos materiais rochosos para uso como revestimento têm sido estabelecido tomando-se como referência a distância para o centro consumidor associado com o nível de aceitação do material. No entanto, no mercado interno, o reajuste desses preços era feito com base nas mudanças de custos de lavra, transporte e beneficemente impostas pela inflação. Entretanto, para o mercado externo, essa atualização baseava-se, unicamente, na variação cambial, haja vista que o mercado internacional não permite oscilações no preço de cada tipo de rocha.

Destaca-se que o preço ainda está relacionado, também, ao campo de utilização do material, ou seja, uma chapa com espessura de 3cm possui um preço maior do que aquela a 2cm, sendo que neste caso, a diferença no preço estaria associada à quantidade maior de rocha contida na chapa. Da mesma forma, materiais utilizados em arte funerária (espessuras) apresenta preço diferenciado em relação a outros campos de aplicação, quando trata-se do mesmo material.

Se faz necessário, ainda, explicitar que o mercado internacional mostra perfis específicos de consumidores, em que, muitas vezes, materiais

tornam-se aceitos temporariamente “na moda”, isto ocorrendo mesmo em países tradicionalmente consumidores e exportadores de rochas, verificando-se um aquecimento momentâneo nas vendas daquele tipo de material, com uma súbita queda, num segundo instante, nos seus níveis de comercialização.

É importante frisar que o mercado globalizado atuou como responsável pela redução dos preços dos materiais, especialmente pela atuação de países como China e Índia (a partir de 1990). Por outro lado, essa queda nos preços favoreceu ao aumento do consumo, tendo o setor alcançado uma parcela maior da população e um maior consumo físico de rochas ornamentais.

TABELA 13 - PREÇOS DE ROCHAS ORNAMENTAIS

| ANO | Granito Bruto | Rochas Processadas | Mármore Bruto |
|------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| | US\$/m ³ (Corrente) | US\$/m ² (Corrente) | US\$/m ³ (Corrente) |
| 1988 | 361 | 78 | 412 |
| 1989 | 367 | 89 | 452 |
| 1990 | 371 | 73 | 356 |
| 1991 | 393 | 61 | 397 |
| 1992 | 352 | 73 | 458 |
| 1993 | 399 | 70 | 493 |
| 1994 | 437 | 65 | 491 |
| 1995 | 436 | 61 | 528 |
| 1996 | 442 | 68 | 552 |
| 1997 | 461 | 63 | 501 |
| 1998 | 444 | 70 | 604 |
| 1999 | 441 | 64 | 441 |
| 2000 | 431 | 57 | 480 |

Fonte: AMB/DIDEN/DNPM

Evolução dos Preços nos Mercados Nacional e Internacional

Historicamente, os materiais ornamentais e de revestimento consumidos no País caracterizavam-se por apresentar preços mais baixos em relação àqueles praticados para o mercado externo. Esse fato ocorria em virtude dos materiais consumidos internamente revelarem qualidades inferiores aos exportados, ou seja, materiais considerados de segunda categoria. Entretanto, nos últimos anos, esse cenário foi sendo modificado, haja vista que o mercado interno aumentou o seu grau de exigência, passando a consumir também materiais de qualidade superior, havendo, em paralelo, uma melhoria no parque industrial de desdobramento e de polimento, aumentando, em decorrência, o volume de material processado para exportação. Diante desse quadro, a diferença de preço entre os produtos para o mercado interno e para o externo tem diminuído, sendo que hoje, praticamente, preços e qualidades estão equiparados. Em média, os preços das rochas ornamentais giram em torno dos US\$ 400,00/m³. Por outro lado, aqueles produtos somente consumidos no mercado interno mantêm preços variando, na média, em torno de US\$ 300,00/m³. Existem materiais, no

entanto, cujos preços podem atingir até US\$ 4.000/m³, a exemplo dos granitos azuis.

Tipos de Contratos de Comercialização

Existem duas modalidades de contrato de comercialização. No âmbito do Brasil, há contratos entre fornecedores e compradores intermediários, os que durante muito tempo serviram como elo entre o produtor e o grande comprador internacional. Essa relação continua existindo pela necessidade de garantia do fornecimento dos produtos dentro do prazo requerido pela transação comercial. Ocorre, no entanto, que tal sistemática vem sendo modificada, passando a ocorrer, em muitos casos, a contratação direta entre o “serrador” e produtor, eliminando-se, assim, as fases intermediárias.

Informações Relevantes

Comprovadamente, as feiras de rochas ornamentais constituem-se em eventos de intercâmbio de informações, de divulgação de novos materiais e de novas tecnologias, nas quais é possível perceber, as tendências do mercado.

O Decreto nº 3822, de 25 de maio de 2001, determinou a redução da alíquota do Imposto sobre Produtos Industrializados (IPI) incidente sobre as rochas ornamentais beneficiadas. Pelas novas regras, o IPI, a partir de junho de 2001, vigorará com a alíquota de 3%, já sendo previsto que, em seis meses, virá a atingir a alíquota de 9% e, em janeiro de 2002, a alíquota será reestabelecida para o patamar anterior ao Decreto, quando era de 10%.

O racionamento de energia determinado pelo Governo Federal no ano de 2001 tem trazido grandes dificuldades de adaptação para o setor, haja vista que a base dos trabalhos de transformação é fundamentada no grande consumo de energia elétrica, por força da necessidade de operação de motores elétricos.

Além do forte investimento na confecção de produtos de divulgação como catálogos, e de sistematização de informações do setor de rochas ornamentais em meio digital e de fácil acesso para o público em geral, os governos estaduais têm prestado apoio a entidades privadas, associações e sindicatos, no sentido de garantir espaços permanentes de exposições de rochas brasileiras, os quais somados àqueles mantidos por empresas particulares, contribuem sobremaneira para ações de *marketing* dos nossos produtos. Também materiais de divulgação como revistas especializadas oferecem ao usuário do setor ou a todo aquele interessado no assunto de rochas ornamentais, uma coletânea de informações atualizadas que não estão disponíveis em outras fontes de informações.

BALANÇO CONSUMO/ PRODUÇÃO

Análise da Diferença Produção – Consumo

O consumo interno no País (aparente) é determinado pelo cálculo da produção total comercializada, subtraindo-se o material exportado e somando-se o material importado, não sendo assim

computados eventuais estoques de um ano para outro. A diferença verificada no gráfico que compara a produção nacional e o respectivo consumo corresponde, assim, à quantidade total exportada deduzindo-se a importação.

Desta forma, os dados utilizados neste trabalho dizem respeito, exclusivamente, a uma estimativa de produção comercializada, não sendo, portanto, considerados eventuais valores produzidos nas frentes de lavra, e que não foram comercializados. Em sendo assim, o consumo de cada tipo de rocha decorre do nível de sua aceitação no mercado, o que determina o aquecimento da atividade produtiva.

Projeção da Produção e do Consumo 2005 e 2010

O mercado brasileiro de rochas ornamentais, durante vários anos apresentou, como característica peculiar, um crescimento não planejado, resultante de investimentos no setor, independentemente de políticas de governamentais de fomento. Há menos de 10 anos tem havido um relativo reconhecimento governamental quanto a sua importância como um segmento expressivo do setor mineral. Mesmo assim, as ações governamentais têm se restringido ao apoio na divulgação dos produtos, ao controle estatístico da produção e comercialização e, em raras exceções, realizando investimentos no fomento da produção através de construção de infra-estrutura básica em energia elétrica, melhoria das vias de acesso, recursos esses normalmente oriundos da CFEM, além de incentivos fiscais com redução da alíquota para exportação.

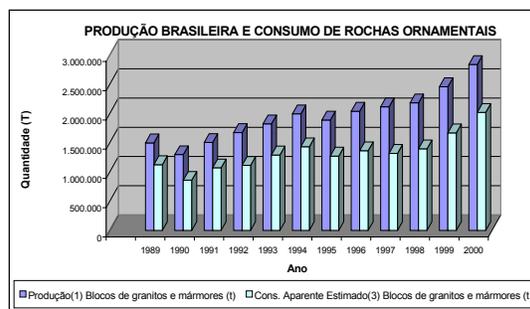


GRÁFICO 14 - BALANÇO CONSUMO – PRODUÇÃO

No que se refere a programas de investimentos e apoio a novos projetos, o governo federal tem disponibilizado recursos financeiros, que nem sempre são utilizados pelos investidores do setor, em virtude das altas taxas de juros e reduzidos prazos de carência para início de amortização do capital investido, sem possibilidades de assistência quanto ao risco de investimento, a exemplo do que ocorre em outros setores da economia, especificamente para o pequeno produtor.

Novos projetos em curso estão sendo realizados por iniciativa individual dos empreendedores nacionais, que muitas vezes contam com o suporte financeiro e/ou com a parceria de investidores estrangeiros que, reconhecendo o potencial das rochas brasileiras, adiantam capital

para abertura das frentes de lavra, tendo, como contrapartida, a prioridade na escolha dos blocos oriundos das pedreiras e, em muitos casos, exclusividade no fornecimento.

As perspectivas apontam para que a abertura de novas pedreiras continue a concentrar-se no norte do Estado do Espírito Santo, no sul e sudoeste da Bahia, no Estado de Rondônia, Ceará e Rio Grande Norte, sem deixar de falar nos materiais de Alagoas que têm despertado grande interesse de compradores internacionais.

Constata-se que pedreiras localizadas em regiões consideradas, há pouco tempo, como inviáveis para abertura de projetos de rochas ornamentais, estão colocando no mercado nacional seus produtos com grande competitividade e, ainda, tendo a possibilidade de, a médio prazo, esses produtos virem a cruzar as fronteiras brasileiras.

Cita-se, por exemplo, materiais produzidos nas regiões Norte e Centro-Oeste do País, que têm sido viabilizados em virtude do desenvolvimento de sistemas articulados de transporte (hidrovia-rodovia-ferrovia), permitindo a redução das distâncias aos centros consumidores, inclusive, com possibilidade de acesso ao Pacífico. Com isto, poder-se-á vir a ter uma intensificação do comércio desses materiais no MERCOSUL, bem como o seu embarque para o Oriente, especificamente para o Japão, Cingapura, Taiwan, decorrentes da redução de custos de frete, sobretudo, para os granitos negros e exóticos do Estado de Mato Grosso, e aqueles recentemente descobertos em Rondônia.

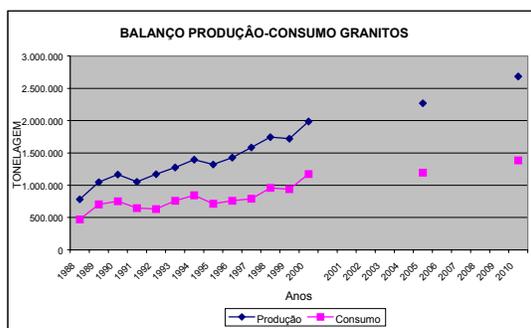


GRÁFICO 15 - BALANÇO CONSUMO – PRODUÇÃO DE GRANITOS

Considerando o conjunto de fatores descritos, é previsto que exista nos próximos cinco a dez anos, um contínuo aumento da demanda, particularmente para esses materiais, tendendo a ocorrer uma prioridade dos compradores na seleção de blocos com padrões homogêneos, que permitam produção em larga escala. Isto justifica-se pela necessidade de manutenção desses padrões já aceitos e consagrados em mercados específicos. Também percebe-se a intenção dos compradores em definir agrupamentos de áreas com materiais similares (*clusterização*), de forma que tenha-se certeza de que produtos com boa aceitação possam atender a demandas internacionais, sem perda de nichos já estabelecidos, a partir do fornecimento contínuo desses materiais.

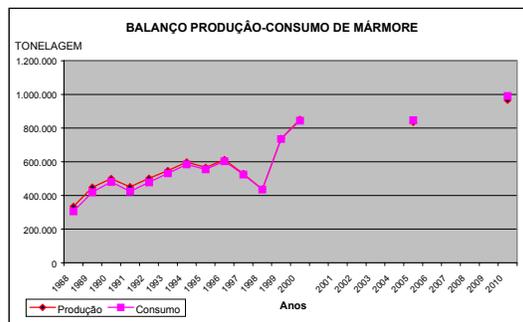


GRÁFICO 16 - BALANÇO CONSUMO – PRODUÇÃO

Taxa Bruta e Taxa Líquida de Crescimento das Reservas Medidas

Em termos evolutivos, a Tabela 14 revela os valores das Taxas Líquidas e Brutas anuais de crescimento das reservas, em que é possível denotar ter havido um relativo acréscimo nos valores das reservas de granito, com a incorporação de novas jazidas, tanto para a taxa líquida (7,93%), quanto para a taxa bruta (7,98%). Já no caso dos mármore, as taxas líquidas e brutas anuais de evolução das reservas registraram um pequeno decréscimo ao longo do período analisado, sendo que essa queda correspondeu a -0,94% e -0,85%, respectivamente.

TABELA 14 - TAXA DE CRESCIMENTO ANUAL DE RESERVAS DE ROCHAS ORNAMENTAIS

| Reservas Medidas | Granitos | Mármore |
|------------------|----------|---------|
| Taxa Líquida | 7,93 % | -0,94 % |
| Taxa Bruta | 7,98 % | -0,85 % |

Ressalte-se que, até o ano de 1991, o DNPM tabulava as informações de rochas ornamentais e de revestimento juntamente com os dados de rochas destinadas à produção de brita. Em sendo assim, neste trabalho, os valores revelados até aquele ano tiveram que ser estimados a partir da curva de evolução das reservas dos anos seguintes, utilizando-se, para tanto, a técnica de ajuste por regressão linear simples.

Problemas decorrentes de Desequilíbrios entre Oferta e Demanda

No setor de rochas, pode-se detectar inúmeros casos em que ocorre algum desequilíbrio entre a oferta e a demanda. No entanto, esses desequilíbrios, longe de serem estruturais de mercado, caracterizam-se por situações pontuais e conjunturais, mas que tendem a se repetir de forma dispersa e ocasionalmente para cada tipo de material.

Pode-se citar o caso de materiais que revelarem, anteriormente, pequena demanda, e que passaram a ser solicitados, mais tarde, por arquitetos e decoradores. Nesses casos que apresentam demandas súbitas e modais, percebe-se que em virtude das lavras desses materiais encontrarem-se,

nessas ocasiões, paralisadas, e sendo o seu uso, normalmente em grandes obras, mineradoras que possuem agilidade de resposta ou flexibilidade na escala de produção, tendendo a atender tais solicitações, poderão vir a fechar bons negócios e vir a consolidar posições de competitividade para esses materiais.

Outro fato a ser analisado refere-se aos materiais consagrados para os quais inexistem similares no mercado, e que apresentem déficit na oferta, ou seja, propositadamente o próprio produtor poderá fazer o controle sobre a oferta, objetivando a manutenção estável do preço em condições favoráveis.

Considerações Finais

O setor de rochas ornamentais possui um leque de opções de materiais em mármore e granitos que estimula a criatividade dos engenheiros, arquitetos e decoradores, na aplicação desses materiais dadas a suas características como resistência, durabilidade, conforto térmico, funcionalidade e praticidade no uso cotidiano, manutenção e, possibilidades de interação com outros materiais.

No quadro atual, espera-se que ocorra nos próximos anos uma alta significativa nos valores de reserva medida aprovados pelo DNPM, em decorrência de regularização da atividade em diversas áreas, com a conseqüente oficialização dos valores.

Quanto à produção, percebe-se existir uma tendência à expansão de materiais com valor estético expressivo e de rara beleza, além de granitos com características exóticas e de outros que consigam consolidar mercados para grandes demandas, valendo-se da possibilidade de poder ofertar blocos em larga escala, com padronagem homogênea e não defeituosos.

Em relação ao comércio exterior, percebe-se existir uma clara vocação nacional para exportação de granitos em blocos, havendo, ainda, grande destaque para ampliação do comércio de rochas processadas, especificamente destinadas aos Estados Unidos e à Itália. A importação de rochas, por seu turno, tem sido caracterizada pela tendência de crescimento nas quantidades de mármore em bruto e de rochas processadas. Embora tenha havido uma queda nessa importação no último período, por força da elevação do câmbio do dólar, ela tende a voltar a crescer com a estabilização da moeda, enquanto que para os granitos a importação permaneceria com um crescimento apenas vegetativo.

O consumo interno permite vislumbrar duas possibilidades de desempenho futuro. A primeira possibilidade, de tendência principal, ocorreria em condições mais conservadoras, em que o

crescimento dar-se-ia de forma mais modesta, acompanhado as taxas de crescimento geral da economia brasileira nos últimos anos, previsão essa de acordo com os gráficos 15 e 16 apresentados neste trabalho. Outra possibilidade seria em condições mais otimistas, com um crescimento no consumo interno expressivo, determinado pela possibilidade de retomada de crescimento no setor da construção civil, incluindo-se a implementação de políticas habitacionais.

Por força do aumento da capacidade de desdobramento dos novos teares, percebe-se que o tamanho médio dos blocos oriundos das pedreiras tenderá a aumentar dos atuais 3 a 4 m³ para até 8 a 10 m³, particularmente, quando tratar-se de blocos para exportação.

BIBLIOGRAFIA

- ABIROCHAS & CETEM. Rochas Ornamentais no Século XXI: base para uma política de desenvolvimento sustentado das exportações brasileiras. Abril, 2001.
- ALENCAR, Carlos Rubens A.; CARANASSIOS, Adriano; CARVALHO, Denilson. Estudo Econômico Sobre Rochas Ornamentais (Vols. 1, 2, 3, 4 e 5). Fortaleza: Instituto Euvaldo Lodi, 1996.
- BRASIL. Anuário Mineral Brasileiro. Departamento Nacional de Produção Mineral. Brasília: 1988 - 2000.
- _____. Avaliação de Rochas Ornamentais no Ceará através de suas características tecnológicas. Ministério de Ciência e Tecnologia. Centro de Tecnologia Mineral (CETEM). Rio de Janeiro. 1999.
- _____. Departamento Nacional de Produção Mineral. Catálogo de Rochas Ornamentais do Estado do Mato Grosso. Por Adnem Rajab. Brasília, 1998.
- _____. Departamento Nacional da Produção Mineral. Perfil Analítico de Mármore e Granitos.. Boletim 38. Vol. I e II. Brasília, 1977.
- _____. Sumário Mineral.. Departamento Nacional de Produção Mineral. Brasília: Série 1988 – 2000.
- _____. Tributação da Mineração no Brasil. Departamento Nacional de Produção Mineral. Brasília: em 2000.

Cursos

QUALIFICAÇÃO DE ROCHAS ORNAMENTAIS E PARA REVESTIMENTO DE EDIFICAÇÕES: CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA E ENSAIOS DE ALTERABILIDADE

Maria Heloisa Barros de Oliveira Frascá

Geóloga. Agrupamento de Engenharia de Rochas. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo.
Rua Monte Alegre, 1352 – apto 02 – 05.014-002 – São Paulo – SP
E_mail: mheloisa@ipt.br

RESUMO

A qualificação de rochas ornamentais e para revestimento abrange, atualmente, a caracterização tecnológica e ensaios de alterabilidade, com o objetivo de se obter parâmetros físicos, mecânicos e petrográficos que orientarão a escolha e uso desses materiais na construção civil.

São apresentados os principais ensaios tecnológicos, normalizados por entidades brasileiras e estrangeiras, usados para a caracterização física e mecânica das rochas.

Ensaio de alterabilidade, ainda experimentais, simulam situações de exposição dos materiais rochosos a atmosferas agressivas e/ou poluídas ou a reagentes químicos usados na limpeza e manutenção. Os resultados dessas simulações indicam principalmente as medidas preventivas para evitar/retardar o “envelhecimento” da rocha.

INTRODUÇÃO

O uso da pedra faz parte da história da civilização desde os seus primórdios, uma vez que foi empregada logo cedo pela humanidade na construção de obras e monumentos (pontes, estradas, aquedutos, palácios, castelos, igrejas, túmulos), sempre que houvesse a disponibilidade dessa matéria-prima em condições mínimas de aproveitamento.

No Brasil tem-se conhecimento do uso das rochas para finalidade ornamental desde o período imperial, quando se importavam os mármore da Europa (italianos e portugueses).

O termo rochas ornamentais tem variadas definições. Pode ser considerado similar ao que a *American Society for Testing and Materials* (ASTM, 1999a) define para *dimension stones*: pedra natural que foi selecionada, regularizada, ou cortada em tamanhos e formas especificados ou indicados, com ou sem uma ou mais superfícies mecanicamente acabadas.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, no prelo) define rocha ornamental como: material rochoso natural, submetido a diferentes graus ou tipos de beneficiamento ou afeiçãoamento (bruta, aparelhada, apicoada, esculpida ou polida) utilizado para exercer uma função estética. Rocha para revestimento é aí definida como rocha natural, que submetida a processos diversos e graus variados de desdobramento e beneficiamento, é utilizada no acabamento de superfícies, especialmente pisos e fachadas, em obras de construção civil.

As duas grandes categorias comerciais de rochas ornamentais e de revestimento são os “granitos”, que comercialmente englobam rochas silicáticas (ígneas ácidas e intermediárias plutônicas/vulcânicas, charnockitos, gnaisses e migmatitos), e o “mármore”, comercialmente entendido como qualquer rocha carbonática, tanto de origem sedimentar, como metamórfica, passível de polimento. Também são consideradas rochas ornamentais e de revestimento os travertinos, ardósias, quartzitos, conglomerados e outros.

Atualmente, rochas ornamentais têm sido bastante utilizadas na construção civil, constituindo os revestimentos verticais (paredes e fachadas) e horizontais (pisos) de exteriores e de interiores de edificações. Respondem pela proteção das estruturas e dos substratos contra o intemperismo e agentes degradadores, domésticos e industriais, além de exercerem funções estéticas.

As rochas graníticas, pela sua enorme variedade de cores e padrões texturais/estruturais, são as mais utilizadas nos revestimentos de exteriores, tanto em pisos como fachadas. Os mármore, em geral importados, seguem de perto, principalmente no tocante ao revestimento de interiores.

O principal condicionante para o comércio e uso da rocha, por especificadores e consumidores, é seu aspecto estético (cor, textura e estrutura), que por sua vez está relacionado aos modismos. Entretanto, esse aspecto deve ser conjugado ao conhecimento das propriedades físicas e mecânicas para que a rocha escolhida tenha o desempenho esperado quando submetida às diversas solicitações de uso.

Assim, o aproveitamento da pedra como rocha ornamental e de revestimento está relacionado a três fatores intrinsecamente ligados à geologia do material rochoso:

1. padrão estético: decorre dos aspectos fornecidos pela cor, textura, estrutura e homogeneidade da rocha, que são determinados pelo modo de formação, composição mineral, padrões de orientação/deformação impressos pela história geológica etc.;
2. tipologia do jazimento: definido pela intensidade e tipo de alteração da rocha, presença de tensões confinadas, heterogeneidade estrutural e textural, entre outros;
3. propriedades físicas, químicas e mecânicas: fatores que condicionarão os usos mais adequados da rocha no revestimento de

edificações, pois possibilitam a previsão da sua durabilidade perante as solicitações de uso: intempéries, desgaste abrasivo pelo tráfego de pedestres, danos relacionados à expansão e contração térmicas etc. Os parâmetros físicos, mecânicos e petrográficos são determinados a partir de ensaios laboratoriais.

A esses são adicionados outros, muitas vezes de igual importância, mas ligados a fatores extrínsecos:

- a) características de mercado: ditadas pela viabilidade econômica da lavra, concorrência com outros materiais e pelos modismos;
- b) processo de extração e beneficiamento: que devem ser adequados ao material em foco. Devem, também, ser ponderados os eventuais defeitos decorrentes dos processos de extração e de beneficiamento (serragem, polimento e lustração), assim como o aparecimento ou intensificação de microfissuras preexistentes;
- c) uso e manutenção.

CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA

A caracterização tecnológica de rochas é realizada por meio da execução de ensaios e análises, cujo conjunto básico está relacionados na Tabela 1.

Diversas entidades nacionais e internacionais trabalham na padronização dos procedimentos de ensaio, Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, *American Society for Testing and Materials* – ASTM, Comissão Européia de Normalização – CEN, *British Standard Institution* – BSI, *Deutsches Institut für Normung* – DIN, entre outros. No tocante às rochas ornamentais, no Brasil adotam-se as da ABNT e ASTM.

Tabela 1 – Ensaios de caracterização de rochas ornamentais e respectivas normas utilizadas.

| ENSAIO | NORMA |
|-----------------------------------|--------------------|
| Tração na Flexão | ABNT NBR 12.763/92 |
| Impacto de Corpo Duro | ABNT NBR 12.764/92 |
| Dilatação Térmica Linear | ABNT NBR 12.765/92 |
| Índices Físicos | ABNT NBR 12.766/92 |
| Compressão Uniaxial | ABNT NBR 12.767/92 |
| Análise Petrográfica | ABNT NBR 12.768/92 |
| Congelamento e Degelo | ABNT NBR 12.769/92 |
| Desgaste Abrasivo Amsler | ABNT NBR 12.042/92 |
| Flexão | ASTM C 880/98 |
| Velocidade de Propagação de Ondas | ASTM D 2845/95 |

O principal objetivo da realização de ensaios tecnológicos é a obtenção de parâmetros físicos, mecânicos e petrográficos do material *in natura*, que permitem a qualificação da rocha para uso no revestimento de edificações.

A maior parte dos ensaios procura representar as diversas solicitações às quais a rocha estará submetida durante todo o processamento até seu uso final, quais sejam, extração, esquadrejamento, serragem dos blocos em chapas, polimento/ lustração das placas, recorte em ladrilhos etc.

Parte dos ensaios é realizada nas rochas beneficiadas (ladrilhos polidos) – resistências à flexão e ao impacto de corpo duro – e visam parâmetros para dimensionamento das rochas para revestimento de fachadas e pisos.

Ensaios Requeridos x Usos Pretendidos

O conjunto de ensaios e análises, anteriormente descrito, foi concebido e desenvolvido para representar as solicitações às quais a maioria das rochas de revestimento estará submetida, conforme a situação de uso.

A Tabela 2 (Frascá *et al.* 2000) procura hierarquizar os ensaios requeridos para a caracterização das rochas quanto aos principais usos no revestimento de edifícios e residências, quer seja em pisos de interiores e exteriores (também denominados revestimentos horizontais de exteriores e de interiores), como em fachadas e paredes de interiores e exteriores (ou revestimentos verticais de exteriores e interiores), aos quais são acrescidos os tampos de pia de cozinhas ou lavatórios.

Tabela 2 – Ensaios recomendados para rochas de revestimento, conforme o emprego.

| TIPOS DE REVESTIMENTOS | Ensaios Recomendados | | | | | | |
|---|----------------------|----|-----|----|-----|------|------|
| | AP | AA | RDA | RF | RCU | CDTL | RICD |
| Horizontais de Exteriores | N | N | R | R | R | N | N |
| Horizontais de Interiores | | | | | | | |
| baixo tráfego | N | N | R | R | R | R | N |
| alto tráfego | N | N | N | R | R | R | N |
| Verticais de Exteriores (fixados com argamassa ou por ancoragens metálicas) | N | N | I | N | N | N | I |
| Verticais de Interiores | N | N | I | R | N | R | I |
| Pias e tampos de cozinha/ lavatórios | N | N | I | I | I | R | R |

Nota 1 : AP = análise petrográfica; AA = absorção d'água; RDA = resistência ao desgaste abrasivo; RF = resistência à flexão; RCU = resistência à compressão uniaxial; CDTL = coeficiente de dilatação térmica linear; RICD = resistência ao impacto de corpo duro.

Nota 2: N = necessário; R = recomendado; I = de interesse.

ESPECIFICAÇÕES

Os valores obtidos nos ensaios tecnológicos são úteis como referências para avaliar as características e prever o desempenho do material rochoso em serviço.

A especificação de valores limites, máximos e mínimos, para as propriedades determinadas nos diferentes materiais rochosos tem o objetivo de auxiliar na avaliação da qualidade tecnológica das rochas, independentemente, a princípio, do tipo de utilização futura dos produtos que vierem a ser

obtidos dessas rochas. São cada vez mais requisitadas para a previsão de desempenho das rochas destinadas ao revestimento em edificações.

Na Tabela 3, ao final do texto, são apresentadas as especificações para as rochas que se destinam ao revestimento de edificações, estabelecidas pela ASTM, para “granitos” (ASTM C 615/99), “mármore” (ASTM C 503/99), calcários (ASTM C 568/99), arenitos e quartzitos (ASTM C 616/99) e ardósias (ASTM C 629/99).

Frazão & Farjallat (1996) propuseram uma especificação para rochas silicáticas (granitos, sienitos, dioritos, charnockitos etc.), baseada nos valores estatísticos de mais de uma centena de rochas.

ENSAIOS TECNOLÓGICOS

A seguir são descritos os ensaios requeridos para a caracterização tecnológica de rochas ornamentais as propriedades por eles determinadas, conforme Frascá *et al.* (2000).

Análise Petrográfica



Fornecer a natureza, mineralogia e classificação da rocha, com ênfase às feições que poderão comprometer suas resistências mecânica e química, e afetar sua durabilidade e estética.

A análise fundamenta-se na observação de seções delgadas das amostras, estudadas ao microscópio óptico de luz transmitida.

Acima, detalhe de microscópio petrográfico e de lâmina delgada.

Índices Físicos

Os índices físicos se referem às propriedades de massas específicas aparentes seca e saturada (kg/m^3), porosidade aparente (%) e absorção d'água (%). Permitem avaliar, indiretamente, o estado de alteração e de coesão das rochas. São determinados em dez corpos-de-prova, por amostra.

Ressalta-se que grande parte das patologias observadas em rochas de revestimento (manchas, eflorescências e descamação, entre outras) está associada à percolação e/ou acumulação de soluções nos ladrilhos de rocha (Frascá & Quitete, 1999).

COMPRESSÃO UNIAXIAL



Determina a tensão (MPa) que provoca a ruptura da rocha quando submetida a esforços compressivos. Sua finalidade é avaliar a resistência da rocha quando utilizada como elemento estrutural e obter um parâmetro indicativo de sua integridade física.

O ensaio de compressão uniaxial é executado em cinco corpos-de-prova, por amostra, de formato cúbico, no estado seco.

Acima, corpo-de-prova rompido após aplicação de esforços compressivos.

Congelamento e Degelo

Consiste em submeter a amostra a 25 ciclos de congelamento e de degelo, e verificar a eventual queda de resistência por meio da execução de ensaios de compressão uniaxial ao natural e após os ensaios de congelamento e degelo. O coeficiente de enfraquecimento (K) é calculado pela relação entre a resistência após os ciclos de congelamento e degelo e a resistência no estado natural. Valores de K próximos a 1 são indicativos de que a rocha não sofreu modificações significativas pela ação do congelamento/degelo.

É um ensaio recomendado para as rochas ornamentais que se destinam à exportação para países de clima temperado, nos quais é importante o conhecimento prévio da susceptibilidade da rocha a este processo de alteração. O ensaio é executado em cinco corpos-de-prova, por amostra, de formato cúbico, no estado seco.

Velocidade de Propagação de Ondas Ultra-Sônicas Longitudinais

A determinação da velocidade de propagação de ondas ultra-sônicas longitudinais (m/s) permite avaliar, indiretamente, o grau de alteração e de coesão das rochas, pois os valores relativamente mais altos, num conjunto de corpos-de-prova de uma mesma amostra ou entre amostras petrograficamente semelhantes, indicam um menor grau de alteração e uma maior coesão entre seus minerais formadores.

É determinada em todos os corpos-de-prova destinados aos ensaios de compressão uniaxial e de tração na flexão, e auxilia a interpretação dos resultados obtidos nestes ensaios.

Tração na Flexão



O ensaio de tração na flexão (ou flexão por carregamento em três pontos, ou ainda, módulo de ruptura) determina a tensão (MPa) que provoca a ruptura da rocha quando submetida a esforços flexores. Permite avaliar sua aptidão para uso em revestimento, ou elemento estrutural, e também fornece um parâmetro indicativo de sua resistência à tração.

O ensaio é executado em cinco corpos-de-prova, por amostra, de formato retangular, no estado seco.

Acima, corpo-de-prova rompido após aplicação de esforços flexores.

Dilatação Térmica Linear

Determina o coeficiente de dilatação térmica linear (10^{-3} mm/m.°C) de rochas, quando submetidas a variações de temperatura em um intervalo entre 0°C e 50°C. É importante para o dimensionamento do espaçamento das juntas em revestimentos de grandes áreas. É executado em pelo menos dois corpos-de-prova cilíndricos, por amostra.

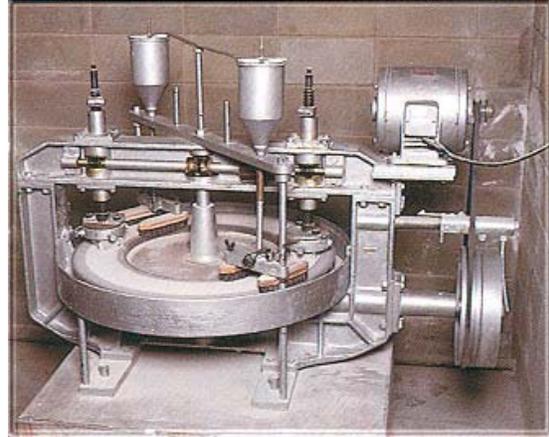
Flexão



O ensaio de flexão (ou flexão por carregamento em quatro pontos) simula os esforços flexores (MPa) em placas de rocha, com espessura predeterminada, apoiadas em dois cutelos de suporte e com dois cutelos de carregamento. É particularmente importante para dimensionamento de placas a serem utilizadas no revestimento de fachadas com o uso de

sistemas de ancoragem metálica para a sua fixação. É realizado em 10 corpos de prova, por amostra. Acima, detalhe de corpo-de-prova rompido após a aplicação de esforços.

Desgaste Abrasivo *Amsler*



Indica a redução de espessura (mm) que placas de rocha apresentam após um percurso abrasivo de 1.000 m, na máquina *Amsler*. O abrasivo utilizado é areia essencialmente quartzosa. Este ensaio procura simular, em laboratório, a solicitação por atrito devida ao tráfego de pessoas ou veículos.

É executado em dois corpos-de-prova, por amostra.

Acima, Equipamento *Amsler* ensaiando corpos-de-prova graníticos.

Impacto de Corpo Duro



Fornece a resistência da rocha ao impacto, através da determinação da altura de queda (m) de uma esfera de aço que provoca o fraturamento e quebra de placas de rocha. É um indicativo da tenacidade da rocha.

É executado em 5 placas polidas, por amostra.

Acima, equipamento utilizado para realização de

ensaio de resistência ao impacto de corpo duro.

ENSAIOS DE ALTERABILIDADE

Atualmente estão em desenvolvimento e implantação ensaios de alterabilidade objetivando a previsão e/ou mitigação de possíveis deteriorações/manchamentos decorrentes da colocação, manutenção e/ou limpeza inadequados. Podem ser citados, entre eles, o ensaio de alterabilidade perante reagentes químicos usualmente utilizados em produtos de limpeza (resistência ao ataque químico), o de saturação e secagem, e mesmo o de congelamento e degelo, já descrito.

Breve Conceituação da Deterioração e Alterabilidade de Rochas

As rochas ornamentais e para revestimento, pela sua durabilidade e enorme variedade de cores e padrões texturais/estruturais, são muito utilizadas nos revestimentos de exteriores de edificações, tanto em pisos como fachadas. Entretanto, a ação dos agentes intempéricos muitas vezes provoca a deterioração da superfície exposta da rocha, seja através da modificação de seu aspecto estético (perda de brilho e manchamentos), seja pela danificação da rocha (despreendimento de fragmentos minerais, "corrosão" etc.).

A alteração das rochas se inicia quando entram em contato com as condições atmosféricas reinantes na superfície terrestre.

As principais variáveis que controlam a natureza e a taxa dos vários processos de intemperismo têm sido, desde longo tempo, reconhecidas como sendo a composição e estrutura da rocha-mãe, o clima e o tempo de atuação do processo intempérico. O efeito dos vários agentes e processos intempéricos reagindo com as rochas é mostrado por mudanças mineralógicas, químicas e granulométricas.

Muitos fatores influenciam a susceptibilidade e taxa do intemperismo físico e químico em rochas. Os mais importantes, tendo em vista as rochas de revestimento, são: tipo de rocha, presença de fraturas e/ou fissuras e o clima (temperatura e intensidade de chuvas). Adicionalmente, há a ação dos poluentes atmosféricos nos ambientes urbanos e o emprego de processos inadequados para o assentamento de rochas.

No caso das rochas ornamentais, as modificações físicas das rochas pelos processos de extração e de beneficiamento, podem levar ao aumento do fissuramento, porosidade e outros (Dib, Frasca & Bettencourt, 1999), que irão contribuir para a acentuação dos efeitos deletérios dos agentes intempéricos ou devidos à interferência humana (manutenção e limpeza inadequadas etc.).

A deterioração, numa definição simples, é o conjunto de mudanças nas propriedades dos materiais de construção no decorrer do tempo, quando em contato com o ambiente natural; e implica na degradação e declínio na resistência e aparência estética, neste período (Viles, 1997). Inclui mudanças

físicas e químicas do material, desde as alterações relativamente benignas até as esfoliações de camadas superficiais. Os termos deterioração e intemperismo podem ser empregados, no caso das rochas ornamentais, praticamente como sinônimos.

A deterioração de materiais rochosos usados no revestimento de edificações ou em monumentos é mais pronunciada nos centros urbanos e industriais, e muitas vezes podem ser sentidos em materiais/monumentos localizados distantes destes centros. O meio ambiente urbano, enriquecido em poluentes de variadas fontes, acelera e modifica a degradação destes materiais, ou seja, altera/acelera os processos naturais (Winkler, 1973).

Aires-Barros (1991) define alterabilidade de rochas como um conceito dinâmico, que se refere à aptidão de uma rocha em se alterar, em função do tempo. O tempo, que é considerado na alteração intempérica como um "tempo geológico", na alterabilidade é um "tempo humano", à escala do homem e das suas obras de engenharia.

A *American Association for Testing and Materials* (ASTM, 1999a), por sua vez, define **durabilidade** como a medida da habilidade da rocha ornamental a suportar e manter as características essenciais e distintivas de estabilidade, resistência à degradação e a aparência. A durabilidade é baseada no período de tempo em que a rocha pode manter suas características inatas, em uso. Este tempo dependerá do meio ambiente e do uso da rocha em questão (p. ex., em exteriores ou interiores).

Desta forma, a alteração apresentada pelas rochas estará condicionada a fatores, como: as características intrínsecas da rocha, ou seja, as propriedades físicas e químicas inerentes à sua mineralogia e alterações preexistentes; os defeitos gerados no processo de beneficiamento (corte e polimento); e, a interação destes com as intempéries e as condições de fixação, manutenção e uso.

No Brasil, as principais causas da degradação destes materiais rochosos podem ser sumarizadas como a seguir:

- clima tropical (intensas variações de temperatura e umidade);
- agentes de limpeza, os quais atuam através de diversas substâncias químicas componentes podem causar modificações, especialmente no aspecto estético das rochas;
- poluição ambiental, na qual têm grande influência os diversos poluentes dispersos na atmosfera (SO₂, NO_x, CO e CO₂);
- adoção de procedimentos de assentamento inadequados para materiais rochosos.

Ensaio Experimentais de Alterabilidade

Tendo em vista o exposto acima, descreve-se na Tabela 4 um conjunto de ensaios de alterabilidade representativo de situações intempéricas e de manutenção e uso.

Tabela 4 – Ensaio de alterabilidade e situações simuladas.

| SITUAÇÃO | ENSAIO | OBJETIVO |
|----------------------|---|--|
| Intempéries | Exposição a intemperismo artificial, em câmaras de condensação e irradiação de ultravioleta | Simulação da exposição de rochas, principalmente quando no revestimento de fachadas, à chuva (umidade) e sol (à irradiação solar, na faixa dos UV, potencialmente mais agressivos). |
| Ação de poluentes | Exposição a atmosferas ácidas e salinas | Simulação de ambientes urbanos poluídos (umidade e H ₂ SO ₄) e marinhos (névoa salina), potencialmente degradadores de materiais rochosos. |
| Manutenção e limpeza | Reagentes químicos utilizados em produtos de limpeza e de uso doméstico | Alguns reagentes químicos são colocados em contato com a superfície polida da rocha, por tempos predeterminados, para verificar a susceptibilidade da rocha ao seu uso, principalmente como materiais de limpeza. Baseado e adaptado do Anexo H da norma ABNT NBR 13.818/97. |

(1) Procedimentos internos IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo)

Alterabilidade Ante Reagentes de Limpeza (Resistência ao Ataque Químico)

Consiste na exposição da superfície polida da rocha aos reagentes comumente utilizados na limpeza doméstica:

- ácido clorídrico: concentração 3%, em massa, por 168h;
- hidróxido de potássio: concentração 10%, em massa, por 168h;
- ácido cítrico: concentração 3%, em massa, por 6h;
- hipoclorito de sódio: concentração 2,5%, em massa, por 6h;
- hidróxido de amônio: concentração 10%, em massa, por 6h.

As eventuais alterações são verificadas visualmente ou através da medida do grau de lustro (antes e após o ensaio). É baseado na norma "Placas cerâmicas para revestimento – especificação e métodos de ensaio: determinação da resistência ao ataque químico", ABNT NBR 13.818/97, anexo H, e foi adaptado e modificado para ladrilhos de rochas polidas.

Esses ensaios de alterabilidade comumente indicam que o ácido clorídrico provoca, em diferentes graus de intensidade, modificações na superfície polida das rochas, em especial as de natureza granítica. Frascá *et al.* (1999) verificaram que, em presença de soluções com HCl e em condições propícias, geralmente há a oxidação de minerais,

principalmente máficos (biotita), que tendem a empobrecer no elemento ferro.

Observa-se, nesse ensaio, desde o incipiente clareamento da área de contato, passando pelo clareamento e descoloração dos minerais máficos (Figura 1), chegando até o branqueamento total da rocha (em geral nos "granitos" pretos). Granitos cinza e/ou brancos podem exibir moderado branqueamento e até amarelamento, com migração de óxidos para as áreas adjacentes à ensaiada (Figura 2).



Figura 1 – Clareamento de rocha granítica em contato com HCl.



Figura 2 – Amarelamento de rocha granítica em contato com HCl.

Referências Bibliográficas

- ABNT-Associação Brasileira de Normas Técnicas. 1992. NBR 12.042/92. *Materiais inorgânicos: determinação do desgaste por abrasão*. Rio de Janeiro.
- _____. 1992. NBR 12.763/92. *Rochas para revestimento: determinação da resistência à flexão*. Rio de Janeiro.
- _____. 1992. NBR 12.764/92. *Rochas para revestimento: determinação da resistência ao impacto de corpo duro*. Rio de Janeiro.
- _____. 1992. NBR 12.765/92. *Rochas para revestimento: determinação de coeficiente de dilatação térmica linear*. Rio de Janeiro.
- _____. 1992. NBR 12.766/92. *Rochas para revestimento: determinação da massa específica aparente, porosidade aparente e absorção de água aparente*. Rio de Janeiro.

- _____. 1992. NBR 12.767/92. *Rochas para revestimento: determinação da resistência à compressão uniaxial*. Rio de Janeiro.
- _____. 1992. NBR 12.768/92. *Rochas para revestimento: análise petrográfica*. Rio de Janeiro.
- _____. 1992. NBR 12.769/92. *Rochas para revestimento: ensaio de congelamento e degelo conjugado à verificação de resistência à compressão*. Rio de Janeiro.
- _____. 1997. NBR 13.818/97, anexo H. *Determinação da resistência ao ataque químico*. Rio de Janeiro.
- _____. no prelo. *Rochas para revestimento de edificações: terminologia*. (Projeto 02:105.45-012).
- Aires-Barros, L. 1991. *Alteração e alterabilidade de rochas*. Instituto Nacional de Investigação Científica, Lisboa:Universidade Técnica de Lisboa. 384p.
- ASTM-American Society for Testing and Materials. 1995. D 2845/95. *Standard method for laboratory determination of pulse velocities and ultrasonic elastic constants of rocks*.
- _____. 1999a. C119/99. *Standard terminology relating to dimension stone*.
- _____. 1999. C 503/99 – *Standard specification for marble dimension stone (exterior)*.
- _____. 1999. C 568/99 – *Standard specification for limestone dimension stone*.
- _____. 1999. C 615/99. *Standard specification for granite dimension stone*.
- _____. 1999. C 616/99 – *Standard specification for quartz-based dimension stones*.
- _____. 1999. C 629/99 – *Standard specification for slate dimension stones*.
- _____. 1999. C 880/99. *Standard test method for flexural strength of dimension stone*.
- Dib, P.P.; Frascá, M.H.B.O.; Bettencourt, J.S. 1999. *Propriedades tecnológicas e petrográficas do "Granito Rosa Itupeva" ao longo dos estágios de extração e beneficiamento*. In: SIMP.GEOLOGIA DO SUDESTE, 6, São Pedro, 1999. Boletim de Resumos, SBG/UNESP: São Pedro. p.154.
- Frascá, M.H.B.O. (coord.); Mello, I.S.C.; Quitete, E.B. 2000. *Rochas ornamentais e de revestimento do Estado de São Paulo*. São Paulo: IPT. CD-ROM.
- Frascá, M.H.B.O. & Quitete, E.B. 1999. Estudos diagnósticos de patologias em rochas de revestimento. *Memorias/Proceedings...* VII Congreso Iberoamericano de Patología de las Construcciones, Montevideu, Uruguai. Asiconpat/CIB:Montevideu. v. 2. p. 1367-1373.
- Frascá, M.H.B.O., Frazão, E.B., Quitete, E.B. 1999. Alterabilidade de rochas ornamentais: metodologia para previsão da durabilidade pela exposição a produtos de limpeza. *Memorias/Proceedings...* VII Congreso Iberoamericano de Patología de las Construcciones, Montevideu, Uruguai. Asiconpat/CIB:Montevideu. v. 3. p. 1831-1836.
- Frazão, E.B.; Farjallat, J.E.S. 1996. Proposta de especificação para rochas silicáticas de revestimento. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 8., 1996, Rio de Janeiro. *Anais ...* Rio de Janeiro: ABGE. v.1, p. 369-380.
- Viles, H.A. 1997. Urban air pollution and the deterioration of buildings and monuments. In: Brune, D., Chapman, D.V., Gruynne, M.D., Pacyna, J.M. (ed.) 1997. *The global environment: science, technology and management*. Scandinavian Science Publ.; Weinheim; VCH: Germany. p. 599-609.
- Winkler, E.M. 1973. *Stone: properties, durability in man's environment*. New York:Springer-Verlag. 230p.

Tabela 3 – Especificações, segundo ASTM, para rochas ornamentais utilizadas no revestimento de edificações.

| ENSAIO | TIPO DE ROCHA | | | | |
|-------------------------------------|---------------------------|---|-------------------------------------|-------------------------------------|---|
| | “GRANITOS” ⁽¹⁾ | MÁRMORES - EXTERIOR” ⁽²⁾ | “CALCÁRIOS” ⁽³⁾ | “RICA EM QUARTZO” ⁽⁴⁾ | “ARDÓSIAS” ⁽⁵⁾ |
| densidade (kg/m³) | ≥2.560 | 2.595 (calcita) 2.800 (dolomita) 2.690 (serpentina) 2.305 (travertino) | I ≥1.760 II ≥2.160 III ≥2.560 | I ≥2.003 II ≥2.400 III ≥2.560 | n.e. |
| absorção d'água (%) | ≤ 0,4 | ≤ 0,20 | I ≤ 12 II ≤ 7,5 III ≤ 3 | I ≤ 8 II ≤ 3 III ≤ 1 | I ≤ 0,25 II ≤ 0,45 |
| compressão uniaxial (MPa) | ≥ 131 | ≥ 52 | I ≥12 II ≥28 III ≥55 | I ≥27,6 II ≥68,9 III ≥137,9 | Segundo foliação: I ≥49,6 II ≥37,9 Perpendicular foliação: I ≥62,1 III ≥49,6 |
| tração na flexão (MPa) | ≥ 10,34 | ≥ 7 | I ≥2,9 II ≥3,4 III ≥5,9 | I ≥2,4 II ≥6,9 III ≥13,9 | n.e. |
| flexão (MPa) | ≥ 8,27 | ≥ 7 | n.e. | n.e. | n.e. |

1. ASTM C 615/99;
2. ASTM C 503/99: **calcita** = calcita mármores; **dolomita** = dolomita mármores; **serpentina** = serpentina mármores/serpentinitos
3. ASTM C 568/99: I = baixa densidade (1.760-2.160 kg/m³), II = média densidade (2.160-2.560 kg/m³), III = alta densidade (≥2.560 kg/m³)
4. ASTM C 616/99: I = arenito (≥60% sílica livre), II = arenito quartzítico (≥90% sílica livre), III = quartzito (≥95% sílica livre)
5. ASTM C 629/99: I = exterior, II = interior

PROCESSOS DE ASSENTAMENTO DE ROCHAS ORNAMENTAIS COMO REVESTIMENTOS

Eleana Patta Flain

Eng^a Civil, MSc, Chefe do Departamento de Técnicas de Arquitetura da Faculdade de Arquitetura da Universidade Mackenzie; Prof^ª dessa Faculdade; Prof^ª Elegida do Instituto Tecnológico da Aeronáutica – Dep. de Infra-estrutura Aeronáutica
Rua Itambé, 45 – Higienópolis – 01239-902 – São Paulo – SP
Fone: (11) 236-8392 - Fax: (11) 236-8435 - E_mail: epflain@terra.com.br

RESUMO

Neste trabalho, são descritos os processos de assentamento das placas pétreas em fachadas de edifícios de múltiplos pavimentos adotados no País. Tais processos são: com argamassa convencional, chamado de *processo tradicional* e com componentes metálicos, chamado de *processo racionalizado*. Mostram-se alguns aspectos relevantes sobre a elaboração de projetos desses revestimentos. Finalmente, são feitas algumas considerações acerca dos revestimentos pétreos aqui tratados.

INTRODUÇÃO

Os revestimentos com placas de rocha são cada dia mais utilizados no País, principalmente, em fachadas de edifícios residenciais e ou comerciais. A grande utilização desse tipo de revestimento deve-se, entre muitos fatores, a maior durabilidade, quando comparados com os revestimentos de argamassas, por exemplo, e ao efeito estético que proporcionam ao conjunto.

Buscando-se contribuir para o desenvolvimento dos revestimentos com placas pétreas é que neste trabalho procura-se salientar alguns aspectos relevantes do processo de produção dos revestimentos de fachadas de edifícios com placas pétreas, ressaltar a importância da adoção de inovações tecnológicas e da implantação da racionalização nos métodos construtivos destes revestimentos. Procurando-se obter finalmente níveis de qualidade e desempenho satisfatórios para esses revestimentos.

CARACTERIZAÇÃO DOS PROCESSOS DE EXECUÇÃO DE REVESTIMENTOS PÉTREOS

A fixação da camada de acabamento com placas de pedra nas fachadas de edifícios pode se dar de duas maneiras básicas: por colagem (adesão físico-química ou aderência mecânica) com ou sem ancoragem de segurança (grampos¹) e por ancoragem mecânica. Na primeira utiliza-se argamassa convencional, argamassas colantes ou colas especiais, e na segunda, componentes metálicos. Atualmente, no Brasil, as técnicas mais

utilizadas para a fixação dos revestimentos pétreos em vedações verticais exteriores, são por colagem,

¹Segundo NBR 13707 (ABNT, 1996), são tipos de dispositivos de fixação compostos por uma única peça fabricada com barra de seção circular ou retangular, podendo ter uma das extremidades dobrada em L ou em gancho.

com ou sem grampos, utilizando argamassa convencional (processo tradicional), e por ancoragem mecânica com auxílio de dispositivos de fixação (processo racionalizado).

Processo tradicional

No Brasil é, ainda hoje, um processo de execução muito utilizado, principalmente nas regiões mais afastadas dos grandes centros, onde há maior dificuldade de obtenção de novos materiais e mão-de-obra especializada. Estendendo este conceito aos revestimentos pétreos, FLAIN (1995), conceitua o revestimento modular convencional como *método tradicional de assentamento de revestimentos* que consiste do assentamento dos componentes empregando-se argamassa convencional. O sistema de fixação com argamassa convencional, chamado por FLAIN (1995) de sistema de fixação por colagem, constitui-se do suporte, de uma tela previamente fixada a este, da camada de fixação e da camada de acabamento (placas de pedra e juntas). O suporte é responsável pela sustentação das camadas subseqüentes, a tela, segundo BS 5262 (BSI, 1976), tem por função proporcionar maior aderência entre a camada de fixação e o suporte, bem como servir de ancoragem para as placas de pedra que posteriormente serão amarradas à mesma. A camada de fixação, por sua vez, é responsável pela ligação da camada de acabamento ao suporte, proporcionando a aderência do conjunto. A última camada é a de acabamento, que constitui o próprio revestimento.

Processo racionalizado

Processos racionalizados segundo FOSTER (1973) apud SABBATINI (1989), são processos nos quais as técnicas organizacionais utilizadas nas indústrias manufatureiras são empregadas na construção, sem que disto resultem mudanças radicais nos métodos de produção. Segundo TARALLI (1984) apud SABBATINI (1989), incorporam princípios de planejamento e controle tendo como objetivo: eliminar desperdícios de mão-de-obra e materiais; aumentar a produtividade; planejar o fluxo de produção e centralizar e programar as decisões.

Segundo FLAIN (1995), a aplicação de componentes cerâmicos com adesivos (cola ou argamassa colante) é um processo racionalizado por significar um avanço na tecnologia de produção dos revestimentos. Fundamenta-se, principalmente, no fato de dissociar os serviços de produção, ou seja, separar a execução da camada de regularização da de fixação. Da mesma forma, pode-se considerar como sendo um processo racionalizado o assentamento de placas de pedra com argamassas

colantes ou colas. As argamassas colantes especiais para assentamento de placas pétreas estão em fase inicial de utilização no país, pois as mesmas ficaram disponíveis recentemente no mercado nacional o que faz com que até o presente momento, essas argamassas tenham sido utilizadas, no Brasil, em apenas uma fachada (3.000 m² aproximadamente), localizada na cidade de Curitiba (PR).

Tomando-se o conceito formulado pelos autores citados, pode-se considerar o assentamento das placas de pedra, através de componentes metálicos, como sendo também um processo racionalizado. Pois, quando da utilização de componentes metálicos, a fixação dos mesmos dá-se no momento do assentamento das placas, sendo que a camada de regularização, quando existente, foi previamente executada. Também pode ser considerado racionalizado pelo fato da utilização de componentes metálicos, fabricados fora do canteiro de obra e previamente definidos em projeto aumentar o nível de organização do processo.

Acredita-se que pode-se obter através da racionalização dos processos construtivos e da adoção de inovações tecnológicas, associadas a consolidação nos canteiros de obras, uma maior qualidade, desempenho e produtividade, e menores desperdícios de materiais e mão-de-obra.

CONSIDERAÇÃO SOBRE A ELABORAÇÃO DE PROJETO

FLAIN e CAVANI (1994) recomendam que para se chegar a etapa final da fase de projeto, que é a do desenvolvimento propriamente dito, os profissionais (arquiteto ou projetista) envolvidos com a elaboração do mesmo, considerem todos os fatores importantes, principalmente no que diz respeito a qualidade, ao desempenho e ao custo do produto final. Aliado a isso, é necessário o conhecimento de parâmetros, que poderão interferir de forma direta ou indiretamente no resultado final do projeto.

É importante enfatizar que, além de um projeto bem elaborado, torna-se imprescindível o acompanhamento da execução dos serviços, por parte dos projetistas, e o treinamento da mão-de-obra para a obtenção de um produto final com qualidade e menor custo. (FLAIN, 1995). A seguir faz-se uma abordagem de alguns destes parâmetros para o projeto de revestimento de fachadas com placas de pedra descritos por FLAIN e CAVANI.

Solicitações de projeto

As solicitações a que as placas de rocha, assim como seus componentes de fixação estarão sujeitos durante a obra e a vida útil do revestimento são as seguintes:

- a) cargas paralelas ao plano das placas;
 - peso próprio das placas;
 - peso próprio de eventual camada de isolamento térmico.
- b) cargas perpendiculares ao plano da placa;
 - ação do vento;
 - impactos acidentais.

c) solicitações devidas ao movimento relativo do suporte e do revestimento:

- deformações devidas a variações higrótérmicas;
- deformações permanentes devidas à retração e à deformação lenta do concreto.

Peso próprio

Em ambos os processos de assentamento das placas, com componentes metálicos ou com argamassa, o peso próprio das placas é relevante pois, no primeiro definirá as cargas verticais que atuarão nos componentes metálicos de fixação, sendo um dado para seu dimensionamento, e no segundo vai solicitar menos ou mais a camada de fixação, neste caso, necessitando de maior aderência ao suporte quanto maior for o peso próprio por unidade de área.

Choques

As placas de rocha, principalmente aquelas situadas em níveis mais baixos estão mais sujeitas aos choques acidentais.

Quando da execução do revestimento em grandes alturas, o balancim utilizado poderá provocar choques nas placas.

Deformações térmicas

Para os revestimentos exteriores, no cálculo das deformações relativas entre o suporte e a camada de revestimento, devidas à dilatação térmica diferencial, deve-se considerar a diferença de temperatura que poderá ocorrer, entre a superfície do revestimento (levando-se em consideração a sua cor) e a camada de fixação.

Efeitos da umidade e chuva

As pedras normalmente utilizadas como revestimento de fachadas apresentam maior ou menor porosidade. Certas pedras absorvem praticamente pouca água enquanto outras podem absorver até 20% de sua massa.

A rapidez com que as construções atualmente são executadas explica a grande quantidade de umidade residual no interior das vedações verticais, que evaporam normalmente pouco a pouco para o exterior. Somando ainda a este fato, há a ocupação das edificações e o aquecimento dos locais o que gera uma abundante quantidade de vapor d'água que migra parcialmente para o exterior. A água pode ainda penetrar através das vedações verticais exteriores por capilaridade.

Recomenda-se deixar aberturas na camada de revestimento, em locais por onde não ocorra a penetração de água de chuva ou de lavagem, para permitir a evaporação da água que eventualmente tenha penetrado entre o suporte e a camada de revestimento. Quando o revestimento apresenta-se aderido ao substrato a água existente nas camadas do revestimento ao percolar pode carrear os sais solúveis da argamassa até a superfície do

revestimento provocando o aparecimento de eflorescência.

Ação do vento

Os esforços devido ao vento devem ser calculados de acordo com a NBR 6123.

Retração e deformação lenta da estrutura

Devem ser consideradas as deformações causadas pela retração da estrutura e da alvenaria e a deformação lenta do concreto, passíveis de ocorrerem após a execução do revestimento. Para evitar patologias posteriores no revestimento, recomenda-se que se aguarde o maior intervalo de tempo possível entre a execução do suporte e as camadas subseqüentes, de maneira que as deformações iniciais dos mesmos não venham solicitar o revestimento.

Aspectos a serem considerados no dimensionamento

O dimensionamento das placas de rocha restringe-se a determinação de sua espessura em função de suas dimensões (comprimento e largura), das características mecânicas da rocha, do sistema de fixação a ser empregado e das cargas atuantes. A determinação da espessura das placas pode também ser feita através de ensaios do conjunto placa componentes metálicos de fixação. Os componentes metálicos de fixação devem ser projetados de forma que resistam aos esforços a que serão submetidos e permitam a livre movimentação das placas.

As juntas que compõem o revestimento podem ser: entre componentes, de movimentação ou construtivas e estruturais. As juntas tem funções de acabamento estético, de estanqueidade e de absorver as deformações passíveis de ocorrerem no revestimento. O acabamento estético é exigido principalmente quanto a horizontalidade, verticalidade e uniformidade de espessura das juntas. As juntas entre componentes devem ter dimensões suficientes para absorver as movimentações diferenciais das camadas constituinte do revestimento.

Para que as juntas de movimentação exerçam suas funções e apresentem o desempenho esperado é necessário primeiramente que sejam devidamente projetadas (dimensionadas), sendo que devem ser consideradas, para o dimensionamento, as diversas solicitações a que as camadas do revestimento estarão sujeitas durante a vida útil do mesmo, bem como as características dos materiais utilizados nessas camadas.

Deverão ser previstas ainda juntas nos encontros de materiais distintos e em elementos que se projetem para além do plano do revestimento. As juntas estruturais quando previstas devem ser respeitadas em posição e largura no revestimento.

Os materiais utilizados para acabamento das juntas são os selantes e as argamassas. Recomenda-se a utilização das argamassas para o rejuntamento das juntas entre componentes quando a camada de

revestimento não estiver sujeita a ação de solicitações de grande intensidade, como por exemplo, nos revestimentos interiores. Quando para a fixação das placas utilizar-se argamassa convencional o rejuntamento das juntas entre os componentes poderá ser feito com nata de cimento ou com selante. Para melhorar à estanqueidade e a estética do rejuntamento pode-se rejuntar com argamassa de cimento e areia fina no traço 1:1 (em volume), com eventual adição de corante.

Para as juntas entre placas, quando fixadas com componentes metálicos, as mesmas devem ser rejuntadas com selantes.

Para o exterior, independente do processo de assentamento utilizado, recomenda-se os selantes, para o rejuntamento das juntas entre componentes e de movimentação, devido, principalmente, as suas características de deformabilidade. Quando do emprego de selantes no rejuntamento das juntas de movimentação, o fator de forma (proporção largura/profundidade) deve estar compreendido entre 2 e 1, conforme recomendações do fabricante do selante. Deve-se prever a utilização de material de enchimento quando for necessário adaptar o perfil das juntas às dimensões ideais do cordão de selante.

Escolha dos materiais

A escolha dos materiais mais adequados para o revestimento das vedações verticais deve estar ligada, principalmente, às características dos mesmos considerando-se a sua utilização, no caso da pedra, se exterior ou interior.

Características das rochas

Nas obras de vulto, previamente ao projeto, é importante que seja efetuada uma pesquisa da jazida para verificar a capacidade de fornecimento da mesma levando-se em consideração o atendimento ao cronograma da obra e a homogeneidade litológica e estética da rocha.

Na escolha da rocha o projetista deve considerar além dos aspectos estéticos, os seguintes:

- a) as características petrográficas que eventualmente possam influir na durabilidade da rocha, tais como: estado microfissural e presença de materiais deletérios e alterados;
- b) as propriedades físico-mecânicas da rocha, determinadas de acordo com as normas NBR 12.763, NBR 12.764 e NBR 12.767;
- c) a porosidade e a absorção da água, determinadas de acordo com a NBR 12.766;
- d) a viabilidade da rocha ser submetida aos processos de beneficiamento necessários à obtenção dos efeitos desejados (superfície polida, serrada, apicoada, flamejada, etc.)
- e) as alterações na aparência a que as placas estão sujeitas quando:

- submetidas à lavagens e à ação de produtos químicos de qualquer natureza (produtos de limpeza e outros);
- expostas às intempéries, no caso de revestimentos exteriores, no tocante,

principalmente, à poluição atmosférica e a morfologia da fachada, de modo a garantir que as águas das chuvas proporcionem uma lavagem uniforme;

- assentadas com argamassa.

Características dos componentes metálicos para a fixação

Os componentes metálicos de fixação devem ser constituídos de metais inalteráveis, isto é, que não sofram degradação devido ao ataque de substâncias existentes na atmosfera, em forma de gás ou vapor, dissolvidos na água da chuva ou na água de limpeza. Os principais metais que poderão ser utilizados para os componentes metálicos de fixação, são: aço inoxidável; cobre e suas ligas e alumínio, com as seguintes características.

a) Aço inoxidável:

- Tipo ABNT 302 - apesar de não ser recomendado por algumas normas, ele é utilizado principalmente pelo seu baixo custo. Acredita-se que a sua utilização deva ser restrita a ambientes interiores, pois apresenta uma maior quantidade de carbono, e este elemento diminui sua resistência aos agentes agressivos.
- Tipo ABNT 304 - para atmosferas urbanas e industriais isentas de cloretos;
- Tipo ABNT 316 - para atmosferas urbanas, marítimas e industriais que contenham cloretos;

b) Cobre e suas ligas:

O cobre e suas ligas possuem excelente resistência à corrosão atmosférica, bem como uma boa resistência à ação química provocada pelas argamassas. Mas, sua resistência mecânica depende essencialmente de suas ligas e do tratamento que recebe durante a sua fabricação.

- Cobre - recomendado para uso somente em grampos e não deve ser utilizado em ambientes que contenham H₂S (gás sulfídrico) e amônia.

O cobre, quando carregado pela água da chuva, poderá provocar manchas de cor verde (azinhavre ou zinabre) na superfície da rocha; este é um dos motivos, para a sua não utilização em componentes metálicos, além de sua baixa resistência mecânica.

- Latão - é uma liga de cobre e zinco que deve ser usada somente com teor de Zn inferior a 15%, pois quando em maiores quantidades estão sujeitas a dezincificação (perda de zinco) e, como consequência, há uma diminuição de resistência mecânica.
- Bronze alumínio - recomendado para atmosferas marítimas.

c) Alumínio - apresenta boa resistência quanto a corrosão, no entanto sua utilização é limitada devido principalmente ao seu alto custo. Em atmosferas marítimas e industriais devem ser utilizadas as ligas 653-T6, 6061-T6 ou equivalente.

Na elaboração do projeto dos componentes metálicos para a fixação das placas é importante a observação dos metais a serem utilizados, pois deve-se escolher metais que sejam compatíveis entre si, de modo a evitar a corrosão galvânica.

Características da argamassa de assentamento

A argamassa a ser empregada na fixação das placas de rocha deve ser de cimento e areia média no traço 1:3 (em volume), podendo ser utilizados aditivos plastificantes ou superplastificantes, a fim de obter-se argamassa de consistência fluída.

Características dos selantes

Os selantes devem:

- a) ser resistentes aos agentes atmosféricos;
- b) apresentarem boa aderência aos materiais nos quais são aplicados;
- c) ser estanques ao ar e à água e não causar manchas ou alterações nos materiais aos quais são aplicados;
- d) ser inertes em presença de substâncias químicas normalmente encontradas nos edifícios (alcalinidade das argamassas e produtos de limpeza);
- e) ter elasticidade suficiente e mantê-la ao longo do tempo.

Elementos de projeto

O projeto de revestimento de vedações verticais com placas de rocha deve ser constituído pelos seguintes elementos:

- a) vista frontal dos suportes a serem revestidos com a distribuição (paginação) das placas e a posição dos componentes de fixação, em escala adequada;
- b) detalhes construtivos dos encaixes, ranhuras e furos das placas, componentes metálicos, juntas de dilatação, fixações ao suporte, entre outros;
- c) memorial descritivo com especificações dos materiais e serviços, apresentando inclusive a tolerância máxima permitida para os desvios de prumo e planeza do revestimento com placas de rocha e as exigidas para os suportes.

Deverá constar do memorial descritivo, ainda, um roteiro e a periodicidade para a realização das inspeções, que deverá abranger os seguintes aspectos:

- a) estado dos selantes (continuidade, adesão às superfícies das juntas, coesão e presença de fissuras);
- b) existência de corrosão dos componentes metálicos de fixação;
- c) indícios de falta de aderência (som cavo ao serem percutidas) das placas fixadas com argamassa;
- c) eventual deslocamento das placas, entre outros aspectos relevantes para o revestimento.

ASPECTOS RELEVANTES NO PROCESSO DE ASSENTAMENTO DO REVESTIMENTO

A mão-de-obra utilizada na execução tem, assim como os materiais empregados e o projeto, importância decisiva no desempenho e durabilidade do revestimento.

Para minimizar os desperdícios e evitar os problemas patológicos é necessário o treinamento de equipes, o que é possível a partir da definição clara dos procedimentos de execução do assentamento

das placas de rocha considerando-se os processos ainda hoje utilizados.

Fixação com componentes metálicos **Preparo do suporte**

É comumente utilizada, quando da execução de revestimentos com placas de rocha fixados com componentes metálicos, a impermeabilização das estruturas de concreto armado, com duas demãos de tinta betuminosa. Para as vedações verticais executadas com componentes de alvenaria, como por exemplo blocos de concreto ou cerâmicos, recomenda-se executar um revestimento de argamassa do tipo emboço e impermeabilizar como nas estruturas de concreto. Observar que, em se suprimindo a camada de emboço, somente a impermeabilização não garantirá a estanqueidade das vedações verticais.

Execução do revestimento

Os componentes metálicos são fixados ao suporte por meio de chumbadores de preferência de aço inoxidável. Os furos para a fixação dos chumbadores são feitos com auxílio de uma furadeira de impacto com broca de vídea. Durante a execução dos furos, deve-se estar atento para detectar se este não coincidiu com algum furo de travamento das fôrmas ou com eventual falha de concretagem, pois nestas condições, pode haver comprometimento da fixação. Recomenda-se que seja retirado do interior dos furos os resíduos, provenientes da furação, antes da colocação do chumbador.

A posição dos chumbadores deverá ser sempre, perpendicular ao suporte. Para a colocação dos parafusos recomenda-se a utilização de um rosqueador. E para o ajuste e a verificação do aperto, a utilização de um torquímetro. Recomenda-se, que quando houverem dúvidas das cargas (condições desfavoráveis do suporte) que suportarão os parafusos, sejam solicitados ensaios para a verificação dessas cargas.

Os componentes de fixação poderão eventualmente, ser incorporados à estrutura de concreto. Nesse caso, quando da concretagem da estrutura os mesmos já deverão estar colocados na posição definida em projeto. A precisão no posicionamento desses componentes deve ser garantida, pois após o endurecimento do concreto haverá muita dificuldade em mudá-lo de posição ou mesmo retirá-los do local.

Após o posicionamento dos componentes metálicos os maiores cuidados deverão ser tomados no momento da concretagem, para que durante o adensamento do concreto o vibrador não altere a posição dos mesmos. O seu mau posicionamento traria dificuldades na posterior colocação das placas de rocha. Devido principalmente aos cuidados necessários no posicionamento desses componentes é que este procedimento está sendo deixado de lado e estão sendo cada vez mais utilizados os chumbadores (parafusos de expansão) para a fixação dos componentes metálicos ao substrato.

Posicionados os componentes tipo sustentadores, as placas de rocha são instaladas, estando os seus rasgos inferiores, preenchidos com selante. Para a colocação do selante nos rasgos das placas as mesmas deverão estar secas. A seguir são instalados os componentes tipo retentores, ajustando-se a posição da placa e preenchendo-se previamente os rasgos superiores das placas com selante. Neste caso a função do selante é evitar a penetração de água proveniente da chuva ou da limpeza do revestimento nos furos e ranhuras das placas.

Quando do interrompimento do assentamento, recomenda-se fazer uma proteção com uma manta plástica fixada no suporte com grampos metálicos e fita adesiva. É recomendada essa proteção sempre que a próxima fiada não for ser executada no mesmo dia ou quando houver possibilidade de chuvas. Essa proteção deverá envolver a borda da placa e sua função é evitar a entrada de água nos furos e rasgos das placas, assim como a penetração de água entre o suporte e a camada de acabamento. Quando do uso de camada de isolamento essa proteção tem uma importância bem maior.

Execução das juntas **Entre componentes**

Antes do rejuntamento recomenda-se que sejam retirados do interior das juntas qualquer material que possam prejudicar a aderência do selante ou sua continuidade, favorecendo posteriormente à infiltração de água para o interior do revestimento. Após esse serviço recomenda-se que as juntas sejam devidamente limpas, com pano ou estopa embebido em um solvente do tipo isopropanol. Recomenda-se a aplicação de um primer às faces laterais das juntas de maneira que melhore a aderência do selante. O selante deve ser aplicado antes da secagem completa do primer.

Deve-se tomar cuidado para que o selante e ou primer não manchem as placas de rocha. Para isso recomenda-se a colocação, antes do rejuntamento, de fita crepe faceando as juntas para evitar o contato do selante e ou primer com a superfície das placas. Após a aplicação do selante limpar, as bordas das juntas, cuidadosamente, para a retirada dos excessos do mesmo. A limpeza dos excessos deverá ser feita também com um solvente do tipo isopropanol.

Construtivas ou de movimentação

Após a limpeza o fundo de junta deverá ser colocado sob pressão, de tal forma que fique adequadamente posicionado.

Para o posicionamento adequado do fundo da junta recomenda-se a utilização de um componente com largura suficiente para a penetração na junta e que pressionará o cordão até a profundidade desejada.

Para um melhor acabamento da junta, após a colocação do selante com a bisnaga, o operário

poderá alisar a superfície da junta com o próprio dedo, de preferência com luva de borracha.

Assentamento com argamassa Preparação do suporte

Quando do assentamento das placas de rocha com argamassa a camada de fixação deverá ser aplicada sobre suportes isentos de partículas soltas, até mesmo de resíduos de argamassa, provenientes de outras atividades.

Quanto à textura do suporte, este deverá ser do tipo áspero. Para alvenarias recomenda-se que estas recebam uma camada de chapisco no traço 1:3 (em volume), cimento e areia grossa. Quando o suporte for de concreto recomenda-se o apicoamento da superfície ou aplicação de uma camada de argamassa colante espalhada com desempenadeira de aço dentada.

Ainda como parte da preparação do suporte, utiliza-se uma tela aço galvanizada soldada (# 15x15 cm), fixada ao suporte com chumbadores também em aço galvanizado. A posição dessa tela deverá ser o mais próximo do suporte. A posição dos chumbadores, deverá formar uma malha quadrada, com dimensão de 50 x 50 cm. A tela deverá ficar posicionada entre o parafuso e duas arruelas, de preferência do mesmo material.

Assentamento das placas

Com base nos eixos de referência já marcados sobre as superfícies a serem revestidas, as placas são posicionadas com um afastamento do suporte de aproximadamente 4 cm para o preenchimento com a argamassa fluida. Os arames presos ao dorso das placas devem ser fixados à tela e as placas devem ser calçadas de forma que não saiam de suas posições durante o preenchimento com a argamassa. Uma maneira de fazer com que a placa de rocha fique na posição após o posicionamento é utilizando barras de ferro apoiadas na parte superior da placa e fixadas ao suporte com uma pasta de gesso.

Antes da colocação da argamassa de assentamento, entre a placa de pedra e o suporte, recomenda-se que nas extremidades das fiadas sejam colocados papel e uma pasta de gesso, para evitar a saída da argamassa.

A argamassa de assentamento deverá ser colocada em camadas de aproximadamente 20 cm, a fim de se evitar esforços consideráveis que possam provocar o desprendimento das mesmas. Recomenda-se esperar a pega do cimento da argamassa, para que se execute a camada subsequente até atingir a meia altura da placa. Após atingida essa altura pode-se completar o preenchimento em uma única camada.

Para o assentamento das fiadas seguintes, recomenda-se a colocação de espaçadores (galgas) entre as placas. As galgas têm a função de definir a junta entre as placas, evitando também que a placa posterior apoie-se na anterior. Nos encontros, dos

vértices das placas, fixá-las com o auxílio de uma pasta de gesso e meio tijolo maciço. A colocação da argamassa se dará da mesma forma, que anteriormente descrito, para o assentamento das fiadas seguintes.

A argamassa é então despejada no espaço entre o substrato e a placa de tal forma que não flua para a superfície da placa vindo a provocar manchas. Após a execução de cada camada, deve-se limpar com pano úmido os eventuais respingos de argamassa que ficaram aderidos à superfície das placas.

Execução das juntas

Antes da execução das juntas deve-se retirar a pasta de gesso e os tijolos, que auxiliaram no assentamento das placas, tomando-se cuidados para não prejudicar o lustro da placa.

Quando do uso de nata de cimento para o rejuntamento, após o assentamento das placas, recomenda-se a limpeza das juntas para a remoção do excesso de argamassa retida no seu interior. Quando do uso de selante, o procedimento a ser adotado é o mesmo descrito anteriormente.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O assentamento das placas de pedra, pelo processo tradicional, muito utilizado em regiões afastadas, apresenta-se, geralmente, sem um projeto específico e com controle da produção pouco ou nada eficiente. Observa-se, nas obras que adotam tal procedimento, um grande desperdício de materiais e de mão-de-obra, decorrentes, principalmente, da ausência de um projeto construtivo, de controle da produção e do desconhecimento das técnicas de produção desse revestimento.

O processo racionalizado (com fixação metálica), já apresenta um projeto específico, no entanto o controle dos serviços geralmente se apresenta deficiente.

A autora entende que os aspectos científicos e tecnológicos são importantes na evolução desses dois processos (racionalizado e tradicional). Para contribuir na reversão da atual situação dos revestimentos pétreos de fachadas de edifícios de múltiplos pavimentos, torna-se necessário o desenvolvimento tecnológico dos processos construtivos utilizados no país. Acrescendo-se a isso, deve-se também investir em pesquisas, no treinamento da mão-de-obra, no controle dos serviços e finalmente na implantação, em canteiros de obras, dos processos e das técnicas desenvolvidas.

O levantamento e a análise das patologias existentes nos revestimentos pétreos de fachadas de edifícios também são importantes para o desenvolvimento do processo de produção destes revestimentos, vindo a contribuir na retroalimentação da etapa de projeto. Além disso, podem, ainda, auxiliar na escolha das rochas mais adequadas, levando à minimização das patologias, como as eflorescências e o destacamento das placas, que

afetam, não somente a estética do revestimento, mas também a estabilidade do conjunto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Projeto de revestimento de paredes e estruturas com placas de rocha: procedimento* - NBR 13707. São Paulo, ABNT, 1996.
- BRITISH STANDARD INSTITUTION. *Code of practice external rendered finishes - BS 5262*. London, 1976.
- FLAIN, Eleana Patta. *Tecnologia de produção de revestimentos de fachadas de edifícios com placas pétreas*. São Paulo, 1995. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- FLAIN, Eleana P.; CAVANI, Gilberto de R. Revestimentos verticais com placas de rocha. *Téchne*. São Paulo, Pini, v.2, n.10, p. 59-63, 1994.
- FRAZÃO, Ely Borges; CARUSO, Luiz Geraldo. Manutenção em revestimentos de pedra. In : SIMPÓSIO NACIONAL DE TECNOLOGIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL, 10., São Paulo, 1989. *Anais*. São Paulo, EPUSP, 1989. p. 89-99.
- SABBATINI, Fernando Henrique. *Desenvolvimento de métodos, processos e sistemas construtivos : formulação e aplicação de uma metodologia*. São Paulo, 1989. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

O USO DAS ROCHAS ORNAMENTAIS EM PROJETOS URBANOS E ARQUITETÔNICOS

Cesare Ferrari

Arquiteto. Via Palestro, 30 – 10015 – Ivrea - Itália
E_mail: fer.ass@eponet.it

Sem dúvida, podemos afirmar que o uso das pedras nasceu com o homem e tem sido caracterizado em cada momento da evolução humana, satisfazendo vários requisitos: técnicos, funcionais, estéticos, etc.

O território, as cidades, os edifícios, as estradas, sempre foram caracterizadas pelo uso das pedras, que não só tem marcado a história da arquitetura e das construções em geral, mas também contribuído, em alguns momentos, com o crescimento econômico social dos povos – como exemplo é suficiente lembrar do “arco”, elemento estrutural em pedra, para entender a sua importância no desenvolvimento da civilização romana e da sua expansão pela Europa.

Mas, pensando na utilização das pedras, nossa atenção não deve voltar-se somente para as grandes realizações, edifícios e infraestruturas, mas também para as pequenas obras do nosso dia a dia, para ver como as rochas ornamentais são parte do nosso ambiente, do nosso mundo nos aspectos, às vezes, mais simples e para ver como a sua utilização sempre teve como finalidade conjugar estética, durabilidade e, muitas vezes funcionalidades: objetivos que são e devem ser perseguidos.

É interessante observar como as rochas ornamentais estão “de novo” sendo fortemente utilizadas em arquitetura. “De novo” porque desde o início dos anos 50 elas foram, em parte, abandonadas, especialmente nas utilizações externas, em favor do concreto aparente e do vidro para revestimentos e, principalmente asfalto para as pavimentações das praças, ruas e calçadas. Mas, demonstrada pela durabilidade, em alguns casos, e os altos custos de manutenção em outros, esses materiais, conjuntamente com o avanço das tecnologias e dos processos de produção e utilização das rochas ornamentais, tornando-se mais econômicas e disponíveis, tem favorecido um renovado e crescente interesse pela utilização das mesmas.

Efetivamente, o século passado, e mais recentemente os seus últimos quarenta anos podem ser definidos como o período de maior crescimento tecnológico e de metodologia de processo na história do trabalho das rochas ornamentais. É correto pensar que a serragem de chapas de granito, ou seja, de materiais duros, em escala industrial foi iniciada no final dos anos 60 e que, a serragem de mármore, ou seja, de materiais macios em chapas de 20 e 30 mm de espessura foi iniciada há 30-40 anos antes. Com certeza, a possibilidade de substituir a utilização de rochas ornamentais em elementos de média-grande espessura, característica das obras até os anos 50, para o uso em chapas com espessura reduzida até a

20 mm, e de oferecer no mercado uma ampla gama de produtos para satisfazer a todas as necessidades dos projetistas, junto com a melhoria das técnicas e dos materiais para o assentamento, tem favorecido um reaquecimento do uso das rochas ornamentais.

Hoje o mercado oferece uma notável variedade de materiais pétreos, que às vezes não são utilizados corretamente. A grande possibilidade de utilização nas mais diferentes situações, devido à sua grande versatilidade, na prática não estabelece limites à criatividade dos projetistas, mas ao mesmo tempo pode facilitar escolhas e utilizações inadequadas. Não devemos esquecer que falando de rochas não estamos falando de um único material, mas um grande número de materiais, que podem apresentar características estéticas e físico-mecânicas muito diferentes, o que não possibilita a padronização na fase de projeto.

Cada um dos materiais, enquanto elemento natural, pode apresentar, e normalmente apresenta, oscilações das suas características específicas, que não raramente atingem valores significativos para fins de projeto.

Naturalmente, as possíveis conseqüências de escolhas erradas podem ser as mais variadas, e dependem do tipo de erro e do contexto do projeto onde estão atuando, e podem limitar-se a piorar somente o aspecto estético e funcional da obra, ou então prejudicar os requisitos de durabilidade, comprometendo-a irreparavelmente.

É bom evidenciar que muitas alterações que se manifestam numa obra acabada não são culpa do tipo de material lapídeo utilizado, e sim de sistemas incorretos de colocação ou uma escolha inadequada dos insumos para o assentamento. Essas situações penalizam fortemente a utilização de rochas ornamentais, gerando desinformação e criando preconceitos.

É importante, por isso, redimensionar os excessivos alarmismos sobre o assunto, que se mesmo em grande parte sem fundamento, terminam por penalizar fortemente a imagem e a difusão das rochas ornamentais. Eles são muitas vezes conseqüência das alterações, modificações, às vezes particularmente evidentes, que os mármore e os granitos podem sofrer depois do assentamento, por causa de determinadas condições ambientais às quais são submetidos, mas que na maioria das situações devido a escolhas erradas dos projetistas, seja na seleção do material, como do processo ou dos insumos. É claro que estes fenômenos de alteração e degradação se verificam com mais freqüência e de modo mais evidente nas utilizações externas, onde é mais forte o impacto dos agentes

atmosféricos e da poluição ambiental, e nas utilizações internas, onde são submetidos a condições ambientais mais agressivas como, por exemplo, nos banheiros, onde entram em contato com água, vapor e produtos para higiene e tratamento do corpo. É bom levar em consideração que qualquer material pétreo, uma vez assentado, interage com um contexto diferente daquele de origem, e portanto é submetido a várias solicitações físicas, químicas, mecânicas e biológicas, que podem alterar o seu aspecto visual e a sua integridade física.

A um exame visual, as várias formas de alterações se manifestam com mudanças de cores, manchas, rachaduras, inchamentos, desfolhamentos, perda de lascas, formação de crostas, poeiras e pátinas superficiais, e até com evidentes deformações de cada ladrilho ou com o colapso estrutural.

A maior ou menor velocidade dos processos de alteração e degradação das rochas ornamentais não depende somente do material lapídeo, mas também da escolha de técnicas de assentamento incorretas. A escolha de corretas técnicas de assentamento, a utilização de argamassas, colas e selantes adequados, para cada tipo específico de aplicação, tem maior importância de quão comumente lhe é atribuído. Não esqueçamos que as rochas ornamentais, se corretamente utilizadas, garantem desempenhos incomparavelmente superiores aos outros materiais de revestimento, e por isso, qualquer tipo de alarmismo deve ser evitado. Graças a Deus, podemos afirmar que no panorama mundial sobre a utilização das rochas ornamentais se revelam progressos notáveis, seja no avanço das metodologias para escolha das rochas, seja para o seu projeto de utilização, a fabricação dos elementos lapídeos e o assentamento deles. Podemos também afirmar que em países como a Itália, Inglaterra, Alemanha, França, Espanha, Portugal, Estados Unidos, Japão e outros, a presença de regras, normas, além de uma difundida cultura na utilização das rochas ornamentais, tem permitido a realização de obras belas e duráveis nas quais os materiais lapídeos são adequadamente valorizados nos vários aspectos: estéticos, funcionais, duráveis e por que não, econômicos.

Para os outros países, que mais recentemente tem mostrado um crescente interesse na utilização das rochas ornamentais, devemos fazer algumas distinções:

- Existem países sem uma produção própria significativa, que para realizar obras têm importado junto com os materiais, também os processos de gestão e assentamento, incluindo os operários, obtendo resultado satisfatórios.
- Existem outros países com uma produção própria desenvolvida em tempos recentes, que tem desenvolvido também um sistema de utilização das rochas ornamentais, que, muitas vezes resente da falta de uma tradição na cultura das pedras. Tudo isso leva naturalmente a resultados que nem sempre podem ser considerados satisfatórios, ou pelo contrário, negativos, favorecendo alarmismos e preconceitos, que com certeza criam obstáculos à difusão da utilização das rochas ornamentais.

Todavia, a nível mundial, o setor das rochas ornamentais está em crescimento e, as lacunas técnicas e tecnológicas existentes em algumas áreas do mundo, seja na fase de beneficiamento/acabamento, como na fase de utilização estão em redução, em função da atual facilidade na transferência de tecnologia e know-how entre vários países.

Os materiais lapídeos mais utilizados são, com definições comerciais: mármore e granitos, e nos últimos anos pedras especialmente de coloração bege. São comumente conhecidos como pedra os materiais lapídeos que não recebem polimento, como ardósias, arenitos, calcários, etc. Os dados referentes à utilização de rochas ornamentais mostram uma paridade entre os mármore e os granitos: os primeiros com uma vocação para serem utilizados em ambientes internos, privilegiando as finalidades estéticas, e os segundos em ambientes externos, privilegiando as características físico-mecânicas, mais sujeitas a suportar a agressividade do meio ambiente.

Nos últimos anos, os arquitetos têm diversificado a escolha dos tipos de acabamento superficial dos mármore e granitos. Podemos afirmar que junto com o polimento, outros tipos de acabamento opacos têm sido solicitados pelo mercado: levigadura, flameagem, apicoamento, jateamento, escovatura, etc. Esta tendência tem favorecido, logicamente, a utilização de pedras que recebem bem vários tipos de acabamento, com a exclusão do polimento.

Com respeito aos materiais podemos afirmar que, no momento, existe uma grande disponibilidade de variedades de tipos, cores e acabamentos, que podem satisfazer a todas as exigências dos projetistas, que, infelizmente, às vezes, não tem acesso a todas as informações disponíveis no mercado, e por isso limitando a sua possibilidade de escolha e de utilização.

Querendo evidenciar as novas utilizações mais significativas dos últimos 20-30 anos, devemos assinalar certamente os revestimentos externos dos edifícios, as pavimentações dos espaços urbanos: praças, ruas, etc, e também, com menor evidência os pisos elevados e os elementos estruturais.

O revestimento externos em rochas ornamentais pode ser considerado, sem dúvida, a mais significativa inovação da utilização dos últimos anos. Neste caso, a utilização de rochas ornamentais foi a melhor resposta encontrada como solução as exigências do mundo das construções, em realizar revestimento seguros, duráveis, estéticos e econômicos. Os mármore e os granitos utilizados como uma "pele" do edifício, não fixados diretamente à sua estrutura com argamassa, certamente precárias ao longo do tempo, mas fixadas com a utilização de diferentes tipos de elementos e estruturas metálicas, que mantêm o revestimento afastado da estrutura. Este sistema, que garante ao mesmo tempo a sustentação do revestimento e os movimentos devido a dilatações térmicas, tem permitido a realização de um revestimento, que além de obter resultados estéticos e de durabilidade, é mais econômico na

manutenção do que os outros tipos, e permite um melhor conforto térmico dos edifícios. Este conjunto de características positivas tem levado os projetistas do mundo inteiro a adotar revestimentos com granito, mármore ou pedra nos edifícios, caracterizando o aspecto arquitetônico e urbano de muitas cidades.

Contemporaneamente ao desenvolvimento dos novos revestimentos dos prédios, aumentou o interesse da utilização das rochas ornamentais também em espaços urbanos, praças, calçadas, ruas de pedestres, etc. Certamente este interesse foi favorecido pela disponibilidade de materiais duros e resistentes no mercado, como os granitos, os pórfidos, que as novas tecnologias estão beneficiando a custos acessíveis, e da vontade das autoridades públicas e privadas em valorizar áreas externas das cidades contíguas aos grandes edifícios. Hoje, depois de cerca de 15-20 anos, podemos afirmar que as rochas ornamentais estão voltando a ser o material mais qualificado para os antigos centros históricos e das novas intervenções urbanísticas, finalizando uma melhor organização dos espaços urbanos.

A utilização dos mármore e granitos entrou com força também nos pisos e nos revestimentos internos dos modernos edifícios, muitas vezes prevalecendo finalidades estéticas, outras com finalidades funcionais, como, por exemplo, nos pisos elevados. Os modernos edifícios comerciais, não somente querem garantir um alto grau de flexibilidade no uso do espaço interno, e também na possibilidade de adaptação durante os anos seguintes a diferentes destinações. Como resposta a este tipo de exigência são ideais os pisos elevados, que podem ser feitos com diferentes tipos de materiais, em painéis apoiados sobre estruturas, normalmente metálicas, e permitem a passagem de canalizações, cabos elétricos, telefônicos e de computadores. Naturalmente os painéis do piso devem poder ser removidos a qualquer momento, facilitando o acesso às redes situadas embaixo. As rochas ornamentais têm sido preferidas frente a outros materiais, não somente por suas características já descritas, mas também pela sua resistência ao fogo e por ser antiestática.

Foram evidenciados até aqui o uso mais recente das rochas ornamentais, sem falar nas suas especificações: forma, dimensão, espessura. Certamente, as fortes mudanças tecnológicas têm influenciado não só o processo de transformação dos mármore e granitos, como também diversificado os seus produtos finais. O século passado foi caracterizado por ter desenvolvido o processamento das rochas para produzir chapas de 20 e 30 mm de espessura. Todo o interesse dos projetistas e produtores de equipamentos para beneficiar mármore e granitos foi direcionado para uma produção em escala industrial, de chapas de média-grande dimensões, com superfícies com acabamentos diversos, mas principalmente polidas. Até o fim dos anos 80, o material lapídeo era beneficiado industrialmente, quase exclusivamente em chapas, com as características já descritas, que eram introduzidas no mercado para posteriores transformações. Nos últimos 10 anos, especialmente em relação ao desenvolvimento da técnica de corte

com ferramentas diamantadas, o beneficiamento das rochas ornamentais iniciou uma mudança rápida, oferecendo novos produtos ao mercado e abrindo novos horizontes aos projetistas e decoradores.

As novas tecnologias de corte e os equipamentos com sistema de controle numérico permitem a produção de elementos de mármore e granito com espessura super-sutil, finamente embutidos, com formas curvilíneas, e também a produção de peças maciças com grande variedade de formas e com finalidades estruturais. Não são poucos os exemplos onde as rochas ornamentais estão voltadas a uma utilização com finalidade estrutural. Certamente podemos afirmar que o novo século foi iniciado com interessantes perspectivas: as inovações e as melhorias tecnológicas estão em desenvolvimento e mostram a possibilidade de novos e importantes cenários na utilização das rochas ornamentais, que estão destinadas a caracterizar ainda mais as nossas cidades e os nossos edifícios. Mas também em um momento de grande avanço tecnológico, não devemos nos esquecer que as rochas ornamentais são produtos naturais, que devem ser utilizados em função das suas características em relação às finalidades de uso, e que nesta fase de escolha e de especificação, a tecnologia não pode ainda substituir o projetista.